



Diciembre 2015 No. 15

MÉXICO EN EL ANTROPOCENO

DIRECTORIO

Oikos= es una publicación periódica del Instituto de Ecología de la UNAM. Su contenido puede reproducirse, siempre y cuando se cite la fuente y el autor. Dirección: Circuito Exterior S/N, anexo Jardín Botánico, C.U., Del. Coyoacán, C.P. 04510. México, www.web.ecologia.unam.mx. Cualquier comentario, opinión y correspondencia, favor de dirigirla a: Dra. Clementina Equihua Z., al Apartado Postal 70-275, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, México, D.F., o a los faxes: (52 55) 5616-1976 y 5622-8995. Con atención a: Unidad de Divulgacion y Difusión, del Instituto de Ecología, UNAM.

Imagen de portada diseñada por: Diego Rodrigo Ortega Díaz.















Diciembre 2015 **No. 15**

Contenido

De los editores

México en el Antropoceno

Luis E. Eguiarte, Clementina Equihua Z. y Laura Espinosa Asuar

En enero del 2010 reiniciamos la publicación de *Oikos*=, la revista de divulgación del Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Con este llegamos a 15 números de su segunda etapa, incluyendo más de 50 contribuciones, que van desde descripciones detalladas de proyectos de investigación, hasta el análisis de diferentes problemas ambientales y de conservación, pasando por reflexiones históricas y filosóficas, reseñas de libros y la descripción de diversos sucesos y efemérides de nuestra vida diaria como instituto de investigación, docencia y difusión.

Oikos= resurgió como un esfuerzo por difundir sobre nuestra investigación y de temas afines a nuestra área del conocimiento. Es un proyecto encabezado por el Dr. César Domínguez, director del Instituto de Ecología, UNAM. El equipo de trabajo inicialmente estaba formado por el mismo César Domínguez, por Gabriela Jiménez y Laura Espinosa Asuar encargadas de edición y diseño, y Julia Marín Vázquez, diseñadora. Luis Eguiarte tomó las riendas editoriales desde el tercer número en febrero del 2011, y para el número 5 (enero 2012) se incorporó Clementina Equihua, participando en diversas tareas editoriales; en el número 6 (agosto 2012) se integró Yolanda Domínguez en la formación de la revista. A todos los colaboradores hasta el momento, tanto autores como personal de la revista, les queremos dar las más sentidas gracias por su esfuerzo ¡sin todos ellos, nunca hubieran sido posibles estos 15 *Oikos*=!

Este número se dedica al Antropoceno en México. El término Antropoceno aparece en la literatura científica recientemente, propuesto por el químico atmosférico holandés Paul J. Crutzen en 2000. Crutzen obtuvo el Premio Nobel de química en 1995, junto con Mario Molina y Sherwood Rowland, por sus estudios sobre la formación del agujero en la capa de ozono. La idea de Crutzen es substituir con ese nombre al Holoceno, la actual época geológica del periodo Cuaternario (que va de hace unos 11, 700 años –cuando acaba el Pleistoceno– al presente), para de esta forma darle énfasis al impacto negativo que han tenido las actividades humanas sobre los ambientes de nuestro planeta. La idea hace sentido, ya que las diferentes etapas geológicas se definen y distinguen por grandes cambios en la fauna y flora. En la *Web of Science*, los primeros estudios usando la palabra Antropoceno surgen en 2001, y su uso ha tenido un crecimiento exponencial, principalmente en investigaciones sobre química ambiental, biogeoquímica terrestre y acuática, climáticos, procesos de extinción acelerados y otros aspectos ambientales y ecológicos.

El efecto de las actividades humanas ha sido en todas las escalas de la naturaleza, y cada día se acelera más; aunque tal vez el impacto más grave sea a nivel de la atmósfera, ya que los cambios en la concentración de CO_2 atmosférico producen modificaciones complejas en el clima, y la temperatura global aumenta debido al efecto invernadero. También cambia la fisiología y productividad de las plantas, se modifica la dinámica biogeoquímica del mar y de la misma atmósfera, y como consecuencia se producen más sequías, huracanes y heladas, fenómenos que a su vez son más intensos. En este número, Juan Carlos Álvarez-Yépiz y Angelina Martínez-Yrízar, de la unidad Hermosillo de nuestro Instituto, nos platican de los efectos ecológicos y ambientales que tienen algunos eventos climáticos extremos, y cómo son amplificados por la destrucción ambiental, en particular por la desforestación y el cambio en el uso de suelo. Grandes secciones de México son afectadas periódicamente por los huracanes, dos ejemplos importantes son el huracán Jova del 2011 y el huracán Patricia que devastó este año a la región de Chamela, y los autores detallan e ilustran los efectos de estos dos fenómenos meteorológicos. También explican el impacto de las heladas y recientes sequías intensas en poblaciones de plantas leñosas, principalmente en el desierto Sonorense.

Además de los eventos biogeoquímicos, atmosféricos y climáticos, otros efectos importantes de las actividades humanas a nivel global, son la extinción y cambio en la distribución de algunas especies, en particular las especies invasoras. Incluimos por primera vez en *Oikos*= una infografía, que resume de manera atractiva información sobre especies invasoras y su importancia en el Antropoceno. Esta infografía se deriva de diferentes proyectos de investigación del Instituto y de otros centros de





investigación de México y del mundo, y fue diseñada y armada por Abril Ángeles, Gloria Morales y Paulina Trápaga, estudiantes del Diplomado en Divulgación de la Ciencia de la DGDC de la UNAM, bajo la coordinación de Clementina Equihua de nuestro cuerpo editorial, y con asesoría de Karina Boege, del Instituto de Ecología y de Jordan Golubov, de la UAM-Xochimilco.

Por otra parte, las actividades humanas pueden afectar a las poblaciones naturales de animales o plantas de maneras insospechadas. Eira Bermúdez describe cómo logró analizar el efecto del ruido urbano en la conducta y canto del gorrión mexicano, *Haemorhous* (*Carpodacus*) *mexicanus* en su tesis de doctorado hecha bajo la dirección de Constantino Macías, investigador de nuestro Instituto.

Otra actividad humana que altera la naturaleza en forma considerable es la llamada extractiva. La extracción de petróleo atrapado en lutitas (*shales*) con el método llamado de *fracking* (fracturación hidráulica), es especialmente destructivo: implica el uso de grandes cantidades de agua y de muchos compuestos químicos potencialmente dañinos que contaminan el manto freático. Este es un problema de especial importancia para el norte de México, donde se encuentran los principales depósitos de este tipo, pero donde al mismo tiempo el agua es el principal factor limitante. El Dr. Luca Ferrari, investigador del Centro de Geociencias en Juriquilla (UNAM), describe la geología de este proceso extractivo, y cuáles son los costos económicos y ambientales para hacerlo. Adicionalmente, Omar Arrellano de la Facultad de Ciencias de la UNAM, nos platica su punto de vista sobre las perspectivas globales del uso del petróleo obtenido por fracking, cuál es el marco regulatorio que tiene esta actividad en México, y los diferentes problemas ambientales que puede generar su explotación en nuestro país.

Ante todos estos cambios, para el futuro próximo del Antopoceno será indispensable mantener la producción en el campo. Las tradiciones y saberes de los campesinos mexicanos son importantes, como también lo es el germoplasma que proviene de las variedades y razas criollas de plantas que ellos han seleccionado y mantenido durante miles de años. Estas especies representan una gran diversidad de aplicaciones, usos y adaptaciones (por ejemplo a diferentes tipos de suelo, o resistencia a distintos tipos de patógenos y de enfermedades) que pueden ser útiles frente a los cambios climáticos y ambientales. Retomar este saber y tradición permitirá en avanzar en el uso sustentable de los recursos, su cuidado, y si es el caso, su recuperación. Un esfuerzo importante fue el encuentro sobre agroecología realizado en abril del 2015 en Zaachila, Oaxaca, en el que participaron más de 200 personas. En el artículo escrito por dos integrantes del colectivo Comité organizador del Encuentro de Trabajo e Intercambio en Agroecología, Zaachila 2015, quienes además son dos investigadores jóvenes de nuestra Universidad, Mariana Benítez del Instituto de Ecología y Lev Jardón del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, se explican las experiencias, metas, avances y perspectivas del encuentro.

Para terminar este número, es para nosotros muy importante mencionar el homenaje a la memoria del Dr. Carlos Montaña, nacido en Argentina y uno de los pilares de la ecología mexicana, quien falleció prematuramente este año. El aviso de su muerte, dado en el Congreso Nacional de Ecología en San Luis Potosí, fue un shock para todos los ecólogos; muchos vagamos por los pasillos del salón de congresos, confundidos y tistes, algunos hasta llorando. La vívida remembranza del Dr. Montaña por dos de sus alumnos, Ernesto Vega del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, de la UNAM en Morelia, y Miriam Ferrer de la Universidad Autónoma de Yucatán, en Mérida, nos ayudará a recordarlo.

Carlos Montaña representa para nosotros al perfecto ecólogo: siempre preocupado por la pregunta ecológica, y cómo ésta podría ser contestada con un cuidadoso diseño, involucrando grandes tamaños de muestra, réplicas y series de tiempo, un correcto y detallado análisis estadístico, el buscar siempre la mayor calidad en el artículo o tesis, aún a costa de su propio curriculum. Serán parte de su legado y de nuestros recuerdos su extenso trabajo en ecología de poblaciones y de comunidades vegetales de zonas áridas y semiáridas –principalmente del desierto Chihuahuense–, la influencia de la escuela inglesa, sus estancias anuales en el Reino Unido, su preocupación por desarrollar la ciencia de primer nivel y la docencia de excelencia, sus desencuentros con los que querían buscar compromisos con la calidad, y su costumbre de hablar a niveles casi imperceptibles, especialmente por teléfono. La ecología como disciplina científica sufre una gran pérdida con la partida del Dr. Montaña, especialmente en momentos como los de ahora, en los que nos enfrentamos a los terribles problemas del Antropoceno que nosotros mismos hemos creado.

Esperamos que estas reflexiones sobre los problemas ambientales que México afronta en el Antropoceno sean del interés de los lectores.

En el siguiente número tendremos artículos más festivos, ya que iniciaremos las celebraciones por los 30 años de la fundación del Departamento de Ecología que dio origen a nuestro Instituto (en el Instituto de Biología, UNAM), y por los 20 años de la fundación del propio Instituto de Ecología.



Artículo

Huracanes, sequías y heladas: eventos climáticos extremos en México

Juan Carlos Álvarez-Yépiz y Angelina Martínez-Yrízar

Los modelos recientes del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) pronostican que los eventos extremos del clima como los huracanes de alta intensidad, las sequías prolongadas y las heladas severas se presentarán con mayor frecuencia en diversas regiones del mundo.

No todos los eventos climáticos son extremos. Un evento climático es extremo porque ocurre rara vez con una intensidad inusual o extrema, y por lo tanto causa una respuesta también extrema del socio-ecosistema donde incide. Un socio-ecosistema se puede definir como un sistema ecológico que incluye a las poblaciones humanas locales interactuando con su entorno.

Los eventos climáticos extremos que se han presentado con mayor frecuencia en las últimas décadas son los huracanes de alta intensidad que pueden afectar directamente a los asentamientos humanos porque pueden provocar inundaciones severas y daños por el impacto del viento. También pueden afectar a los ecosistemas naturales debido a que se modifican los cauces de los ríos o se producen deslaves. Pero también son eventos climáticos extremos las sequías prolongadas y las heladas severas, cuyos efectos dependen de la exposición y vulnerabilidad — social y ambiental — de la región geográfica donde éstos ocurren.



Figura 1. Efectos del huracán Jova en octubre de 2011 en la región de Chamela en la costa de Jalisco, México. En la figura se muestra a) y b) árboles nativos derribados en el bosque, c) y d) la inundación en centros urbanos. Fotos: A. Martínez-Yrízar y A. Verduzco.



En el caso de las sequías, éstas tienen un impacto directo en las actividades económicas productivas como la ganadería y la agricultura y, debido a la pérdida de biomasa, se altera gradualmente la productividad del ecosistema. De esta manera, disminuye el valor económico de las tierras y propicia el abandono del campo y la migración hacia las ciudades. También se ha observado que cuando hay sequías los árboles son más vulnerables al ataque por insectos, en particular a los escarabajos descortezadores, que les pueden causar la muerte. Es así como estos insectos que infestan a los árboles debilitados por la sequía han causado la pérdida de grandes extensiones de bosques templados en México y los Estados Unidos.

Las heladas extremas pueden también causar mortandad de plantas en campos agrícolas y en los bosques, efecto que es visible rápidamente después de la helada por la presencia de numerosos árboles muertos en pie. La acumulación de este material vegetal muerto –incluyendo gran cantidad de troncos, ramas, varas y hojas (ver Figura 1 a y b)– debido al efecto de huracanes, sequías y heladas aumenta el riesgo de incendios forestales severos, y con ello la liberación de bióxido de carbono a la atmosfera, uno de los más importantes gases de efecto invernadero (GEI).

Además del impacto a la infraestructura y pérdidas monetarias cuantiosas asociados a los eventos climáticos extremos como los huracanes de alta intensidad (Figura 1), la afectación a los ecosistemas naturales también representa un reto para el desarrollo y mantenimiento de numerosas actividades económicas que dependen directamente de ellos, deteriorando el bienestar económico y social (Figura 2). Por ejemplo, la extensa muerte de árboles por estos eventos disminuye significativamente la provisión de madera y otros recursos forestales de alto valor comercial, como resinas, ceras y miel, impactando la economía local y regional en el corto y mediano plazo.

Los ecosistemas han evolucionado bajo condiciones de alta variabilidad ambiental y las especies cuentan con mecanismos ecológicos y fisiológicos adaptativos que les permiten responder a esta variabilidad ambiental. Sin embargo, es indudable que la deforestación y en general el cambio de uso de suelo han acentuado la vulnerabilidad de los socio-ecosistemas a eventos climáticos extremos y disminuido su *resiliencia*, es decir, su capacidad de regresar al estado previo al disturbio. De la misma manera, es evidente que la mala planeación urbana ha incrementado la vulnerabilidad social ante eventos climáticos extremos, especialmente en zonas marginadas que son generalmente las más afectadas.

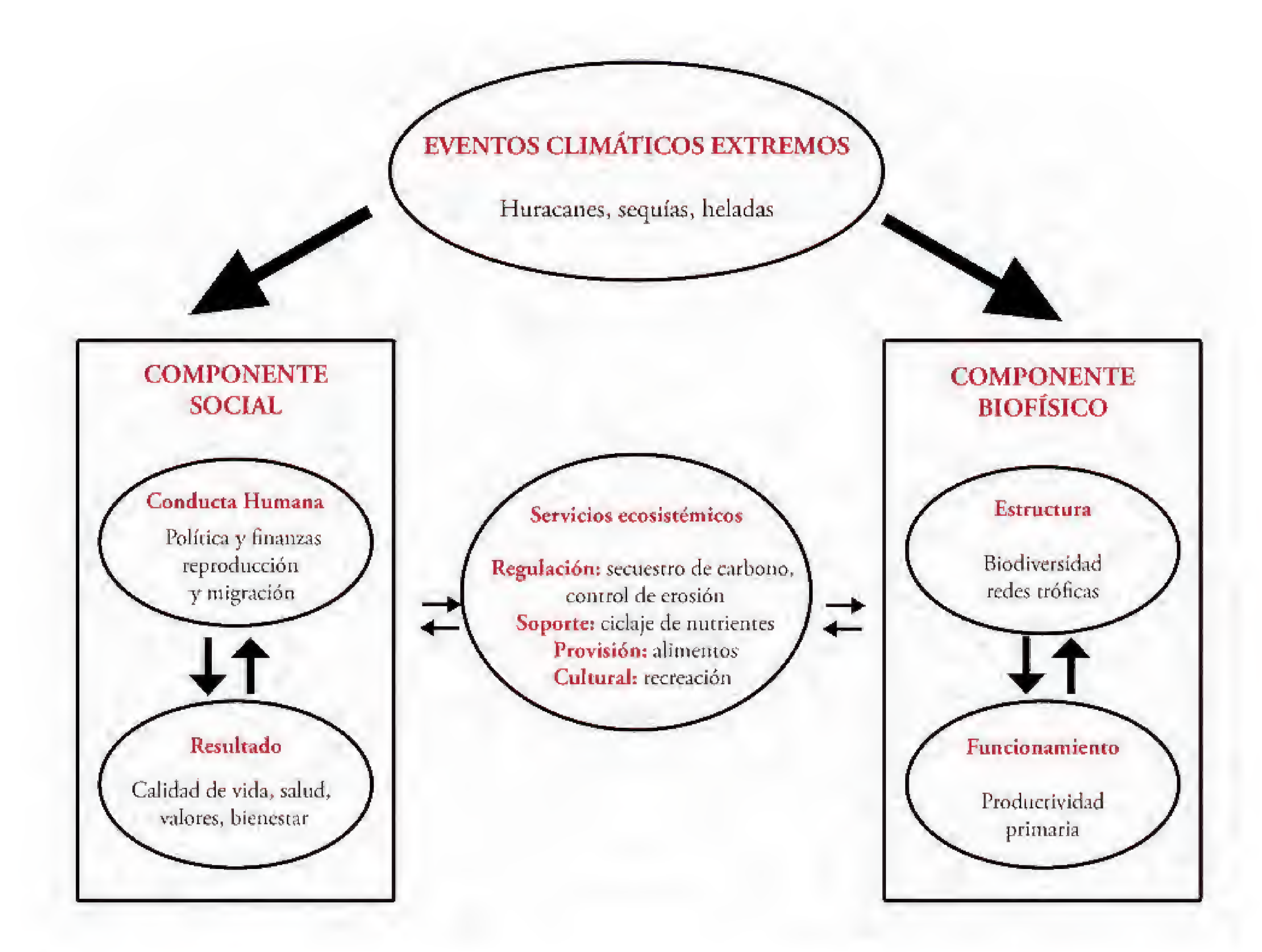


Figura 2. Diagrama conceptual simplificado de cómo interactúan los eventos climáticos extremos con los socio-ecosistemas. Los servicios ecosistémicos conectan a la sociedad con su entorno biofísico (modificado de Collins *et al.* 2011).



Existen muy pocos estudios sobre el efecto de los eventos climáticos extremos en México, especialmente los que usan un enfoque integral y de largo plazo. Estos estudios son necesarios para detectar si un evento climático es extremo o no, y analizar con mayor precisión cuáles son los riesgos que se derivan de estos eventos, tanto para los ecosistemas como para la sociedad. También se requieren para aportar información relevante sobre el diseño de mejores políticas públicas de planeación urbana y manejo de ecosistemas. A continuación presentamos algunos estudios de caso sobre el impacto de estos eventos extremos en México.

Huracanes

En las últimas décadas, la frecuencia de los huracanes en México ha aumentado significativamente según lo explica Ernesto Jáuregui en su artículo en la revista *Atmósfera*. Peter J. Webster y colaboradores explican, en su artículo de la revista *Science*, que también se ha incrementado el poder destructivo de los huracanes, como lo demuestra el aumento reciente en el porcentaje de huracanes de alta intensidad de categoría 4 y 5 en la escala de vientos de Shaffir/Simpson. Este incremento en los huracanes se ha relacionado con cambios en la temperatura superficial de los mares tropicales.

En el artículo *Tropical cyclones of the Eastern North Pacific Basin 1949-2006*, Erik S. Blake y su equipo muestran que de 1949 a 2006, 71 huracanes impactaron tierra por la costa del Pacífico mexicano, 30 de los cuales lo hicieron entre Jalisco y Oaxaca. La mayoría fueron huracanes de categoría 1 o 2; el más extremo fue el llamado Huracán 12 que en octubre de 1959 alcanzó la categoría 5. Este huracán entró por la costa de Manzanillo, Colima, causando la muerte de 1,500 personas y graves daños a la infraestructura de la región. A la costa de Jalisco han entrado siete huracanes desde 1949. En octubre de 2011 el Huracán Jova, categoría 2, con vientos sostenidos de 150-180 kmph y alta precipitación, impactó duramente la región de Chamela-Cuixmala, ocasionando severos daños a los pobladores, a sus cultivos y a los ecosistemas (Figura 1). Los huracanes son infrecuentes en esta región del país ya que, desde los años sesenta, antes del Huracán Jova sólo cuatro huracanes se habían presentado en la costa de Jalisco. Curiosamente, cuatro años después, en octubre de 2015 el Huracán Patricia de categoría 5 tocó tierra en esta misma costa y aunque perdió intensidad rápidamente, sus efectos inmediatos visibles por los fuertes vientos fueron al parecer aún más severos que Jova (Figura 3). Miembros del Sitio Chamela de la Red Mex-LTER, un grupo de investigación interdisciplinaria con un enfoque de largo plazo, estamos trabajando en la evaluación de los daños al socio-ecosistema de la región Chamela-Cuixmala comparando los efectos de estos dos huracanes recientes de diferente intensidad.

Los estudios ecológicos que iniciamos hace 30 años muestran que Jova fue un evento climático extremo para algunos componentes del ecosistema que respondieron de manera también extrema. Por ejemplo, en el bosque tropical seco de Chamela, encontramos que el efecto combinado de viento y agua del huracán derrumbó numerosos árboles y cayeron muchas de las hojas de árboles y arbustos que se mantuvieron en pie. La defoliación por el paso de Jova fue excepcional, ya que se triplicó la caída de hojarasca que normalmente es muy baja en el mes de octubre (Figura 4), y se espera que los efectos del Huracán Patricia en la hojarasca sean mayores.

La caída de hojarasca es un proceso biológico clave del ecosistema porque es la principal vía de entrada de energía y nutrientes al suelo, y es una medida de la productividad primaria, es decir indica cuánto tejido vegetal se produce gracias a la fotosíntesis. Sin embargo, las hojas y ramas que cayeron a consecuencia del huracán Jova fueron arrastradas hacia los principales arroyos por las intensas corrientes de agua superficiales, alterando sensiblemente el ciclo de nutrientes del bosque.

El ejemplo de la cuantificación de los efectos del huracán Jova en Chamela, demuestra la importancia de los estudios de

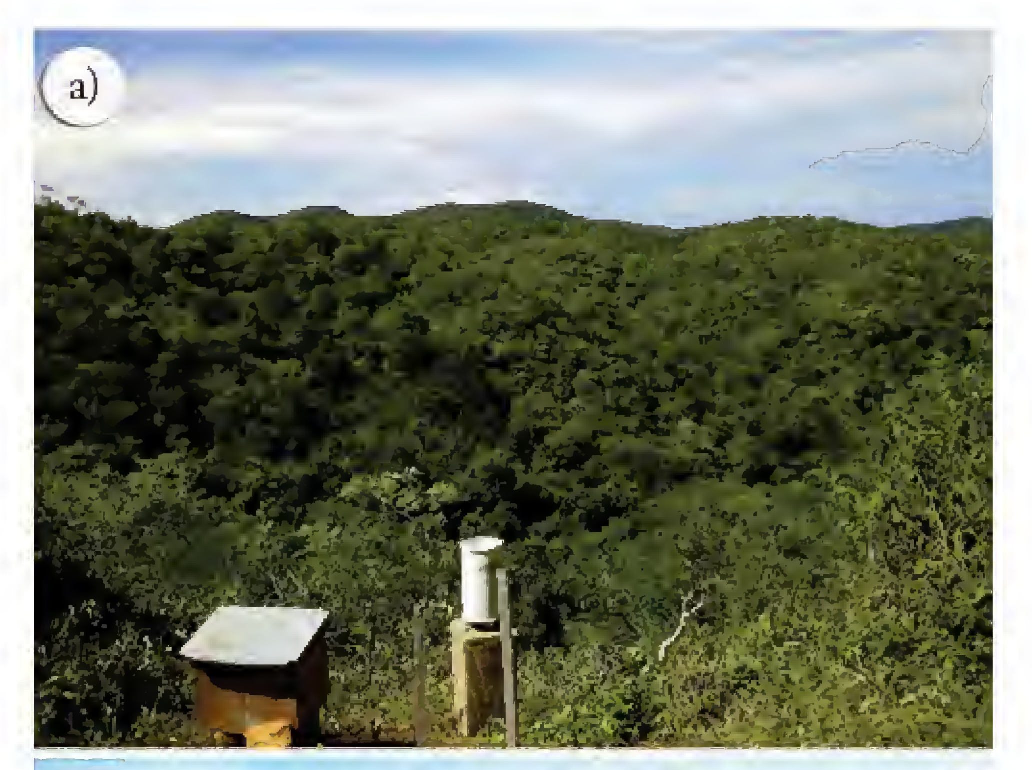




Figura 3. Vista del bosque tropical seco de la Estación de Biología Chamela de la UNAM en la costa de Jalisco días antes (a) y días después (b) del paso del Huracán Patricia el 23 de Octubre de 2015. Es evidente el daño al bosque por la pérdida inmediata de follaje y caída de árboles. Fotos: A. Verduzco.



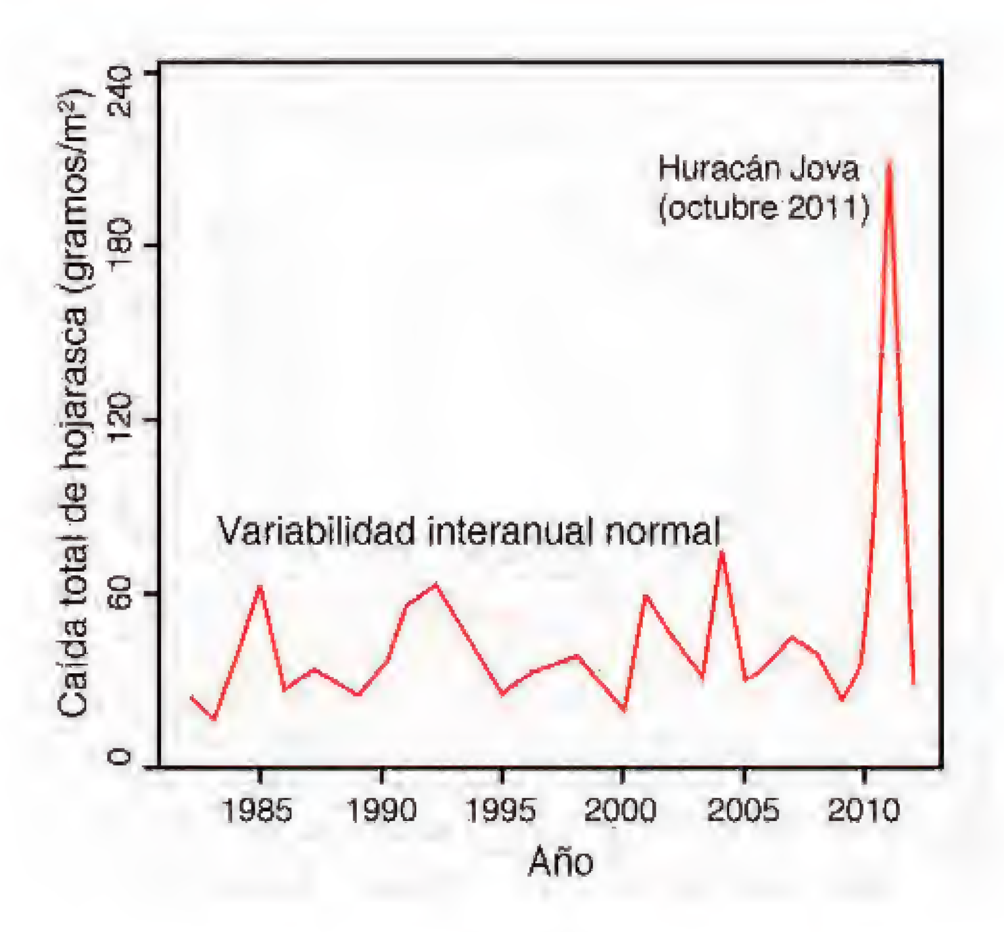


Figura 4. Caída total de hojarasca en los meses de octubre de 1983 a 2012 en el bosque tropical seco en la estación de biología Chamela, UNAM en la costa de Jalisco, México. El pico más alto, sin precedente en la historia reciente del bosque, representa la caída de hojarasca aún verde debido al huracán Jova.

largo plazo para entender procesos ecosistémicos complejos que ocurren a gran escala, y también permiten comprender la respuesta de los ecosistemas a eventos climáticos extremos como pueden llegar a ser los huracanes.

Sequías

Los diferentes modelos de cambio climático también predicen que en regiones áridas como el noreste de México, las sequías serán más intensas y prolongadas.

Se ha observado que los individuos jóvenes y adultos de plantas leñosas de larga vida como los juníperos y muchas especies de los desiertos, enfrentan los eventos extremos de sequía con diversas estrategias; por ejemplo, sus hojas se marchitan, pierden el follaje totalmente o mueren algunas ramas. Esta última estrategia es un fenómeno común en muchas especies, que se caracteriza porque las puntas de las ramas terminales empiezan a morir progresiva y gradualmente hacia la base, sin comprometer la supervivencia total de la planta.

En 2013 Víctor M. Anguiano Millán realizó estudios experimentales en invernadero con plántulas de cuatro especies de palo verde, árboles comunes del desierto Sonorense del género

a)
b)
c)

Figura 5. Árboles y plántulas de *Pakinsonia* conocidas como palo verde o brea en el desierto Sonorense en el noroeste de México. a) Árboles muertos en condiciones de campo, b) y c) plántulas creciendo en invernadero iniciando el proceso de marchitamiento y muerte parcial de ramas ante la sequía inducida. Foto: V. Anguiano-Millán.



Parkinsonia, de la familia de las leguminosas. Sus experimentos muestran que las hojas comienzan a marchitarse a los cinco días de que se suspende el riego, y que en tan sólo 30 días las plántulas de todas las especies tiran todo su follaje. La mortalidad en algunas especies inició después de los 20 días mientras que en otras hasta casi los 40 días después de la suspensión del riego. Anguiano Millán observó que la muerte parcial y/o total de las plántulas depende de la resistencia de cada especie a la sequía (Figura 5). De acuerdo con estos resultados pudo identificar a las especies de *Parkinsonia* que tendrían más posibilidades de sobrevivir en un clima más seco.

Por lo tanto, si aumenta la frecuencia de los eventos extremos de sequía en el noroeste de México, es posible que la distribución y abundancia de especies nativas como el palo verde cambie drásticamente en un futuro. Una mayor sequía promovería aún más la expansión de especies exóticas e invasoras resistentes a la falta de agua, como el zacate *buffel*. El cambio en la composición de especies nativas por invasoras ya comenzó a tener consecuencias negativas en la diversidad, estructura y productividad actual del Desierto Sonorense. Por ejemplo, ahora es posible distinguir porciones de desierto donde la especie dominante es el zacate *buffel*. Este zacate con hojas altamente inflamables promueve la proliferación de incendios y una menor abundancia de cactáceas columnares y arbustos del matorral que no están adaptados al fuego.

Heladas

Una helada extrema es otro fenómeno climatológico que puede causar la muerte masiva de plantas, especialmente de origen tropical. En Protección contra las heladas: Fundamentos, práctica y economía Richard L. Snyder y J Paulo de Melo-Abreu explican que una helada consiste en el descenso de la temperatura ambiente a niveles inferiores a cero, momento en el cual el vapor de agua se congela y se deposita en forma de hielo sobre cualquier superficie. Las heladas extremas están asociadas frecuentemente con frentes fríos y pueden causar severas pérdidas económicas en la agricultura.

Por ejemplo, la helada extrema que se presentó en el noroeste de México del 2 al 4 de febrero de 2011 afectó principalmente a Sonora, Chihuahua y Sinaloa. Las temperaturas más bajas fluctuaron de -3 °C en tierras bajas (en donde se distribuye el bosque tropical seco – zonas históricamente libres de heladas), hasta -17 °C en las partes montañosas. Los efectos en Sonora fueron los más devastadores, 71 de sus 72 municipios fueron afectados por la helada, y 59 fueron incluidos en la declaratoria federal de emergencia. Agricultores contribuyentes de impuestos de las zonas de cultivo afectadas por la helada, recibieron beneficios fiscales extraordinarios para compensar las pérdidas económicas derivadas de este evento. Es probable que estas pérdidas sean aún mayores, porque los efectos de la helada no se cuantificaron más allá de la agricultura.



Figura 6. Vista panorámica del bosque tropical seco después de la helada de febrero de 2011 en el sur de Sonora, México. El área gris representa la mortandad de la leguminosa *Acacia cochliacantha* (también denominada *huinolo*), pionera en el proceso de recuperación natural del bosque en campos de cultivo abandonados. Foto: J.C. Álvarez-Yépiz



Nuestras observaciones indican que la helada de febrero de 2011 causó una mortandad de árboles nativos sin precedente en el bosque tropical seco, principalmente en Sonora y norte de Sinaloa. Una de las especies más afectadas fue la leguminosa, *Acacia cochliacantha* o *huinolo* (Figura 6). En el sur de Sonora esta especie es la dominante de los bosques jóvenes (30-40 años) que se han establecido, mediante el proceso de sucesión secundaria en campos de cultivos abandonados. La muerte masiva de estos árboles lleva forzosamente a la pérdida de servicios ecosistémicos como son los almacenes de carbono y al reinicio del lento proceso de regeneración natural del bosque.

Mirando hacia el futuro

Los modelos atmosféricos globales propuestos por organizaciones como el IPCC predicen cambios climáticos futuros, pero tienen limitaciones para simular matemáticamente condiciones de tiempo severo como huracanes o heladas, o de clima extremo, como las sequías. Aunque aún existe una gran incertidumbre en las proyecciones futuras de eventos climáticos extremos, actualmente es incuestionable su mayor incidencia y se pueden ver las señales de su paso por diversos socio-ecosistemas en muchas regiones del mundo. Algunos ejemplos son los que hemos mencionado anteriormente.

Por lo tanto es urgente realizar más estudios y a mayor detalle sobre la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos en México, y sus efectos en los ecosistemas y en la sociedad que depende de sus recursos. Esto requiere de la participación conjunta de los distintos grupos sociales con órganos de gobierno y especialistas de diversas áreas, incluyendo expertos en clima, en ciencias sociales y naturales, en economía y en planeación urbana.

Nuestros estudios sobre el efecto de huracanes como el Jova en Jalisco, de las sequías en el Desierto Sonorense y de las heladas asociadas a frentes fríos en el noroeste de México, proveen información científica valiosa para entender la respuesta de los ecosistemas al impacto de eventos climáticos extremos. Pero además, serán una fuente de información valiosa para diseñar mejores planes de manejo para nuestros desiertos y bosques. De igual manera estudios de este tipo son valiosos para diseñar mejores programas de prevención de riesgos y de contingencia ante fenómenos naturales, ya que pueden aportar evidencia científica que confiera mayor confianza para el manejo y conservación de nuestros recursos naturales, así como mayor seguridad y estabilidad social.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo del proyecto SEP/CONACYT 179045 y PAPIIT DGAPA/UNAM IN207315, al Grupo Chamela de la Red Mex-LTER, a Enriquena Bustamante, Raúl Ahedo, Salvador Araiza y Abel Verduzco.

Juan Carlos Álvarez-Yepiz. Doctor en Ciencias egresado de la Universidad Estatal de Nueva York y actualmente Investigador Postdoctoral en el Instituto de Ecología de la UNAM. Su principal línea de investigación es la Fisiología de la Conservación. Recibió la beca Fulbright-García Robles y fue distinguido como estudiante de Doctorado sobresaliente en 2014.

Angelina Martínez-Yrízar. Es Investigadora Titular B del Instituto de Ecología, UNAM, Unidad Hermosillo. Experta en ecología de ecosistemas, especialmente de ecosistemas terrestres limitados por agua. Por más de 20 años, ha realizado investigaciones sobre aspectos energéticos en ecosistemas tropicales secos de México. Así mismo, durante 15 años ha dictado cursos sobre ecología de ecosistemas en los posgrados de la UNAM.

Para saber más

- Anguiano-Millán, V.M. 2013. *Mortalidad parcial y selectiva de ramas en cuatro especies de* Parkinsonia *en el Desierto Sonorense: efectos del ambiente biótico y abiótico*. Tesis de Maestría. UNAM. México, D.F.
- Blake, E.S., E.J. Gibney, D.P. Brown, M. Mainelli, J.L. Franklin y T.B. Kimberlain. 2009. Tropical cyclones of the Eastern North Pacific Basin 1949-2006. Historical Climatology Series 6-5. National Climate Data Center, Ashville, NC.
- Collins S.L., *et al.* 2011. An integrated conceptual framework for long-term social-ecological research. Frontiers in Ecology and the Environment 9: 351-357. Doi http://dx.doi.org/10.1890/100068.
- IPCC. 2007. Working group I: The Physical Sciences Basis. Contribution of working group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M Tignor y H.L. Miller, eds.), Cambridge University Press, Cambridge.



Artículo

Petróleo no convencional y *fracking*: porqué llegamos a ello y consecuencias para el futuro de la energía

Luca Ferrari

Los combustibles fósiles y la civilización moderna

El crecimiento de la economía global está estrictamente ligado a la disponibilidad de combustibles fósiles, y particularmente de petróleo. Petróleo, gas y carbón son recursos finitos, no renovables, una herencia geológica que una vez consumida no volveremos a tener.

En la actualidad los combustibles fósiles constituyen 81% de la energía que se usa a nivel global, y los derivados del petróleo proveen 95% de la energía para el transporte. Se ha observado que la producción de petróleo desde hace medio siglo tiende a seguir una curva en campana. Es decir, típicamente se produce primero el petróleo más fácil de extraer y de mejor calidad y, por ende, el más barato. Al alcanzar el pico de la curva de producción, queda todavía aproximadamente la mitad del recurso pero, además de pasar del crecimiento al declive, la energía neta disponible también va decreciendo, ya que se necesita cada vez más energía para extraer el petróleo que está a mayor profundidad, es el geográficamente más lejano, y de menor calidad.

> La recesión económica es un período mayor a un año, en el que el producto interno bruto (PIB) es negativo.

Como resultado, al alcanzar el pico de producción de petróleo la demanda no puede ser satisfecha y los precios comienzan a subir, lo que produce una recesión económica.

A pesar de las crisis geopolíticas de 1973 y 1979 que provocaron un cese temporal del crecimiento de la oferta, en promedio la producción global de petróleo creció 2.1% por año desde mediados de la década de 1960 hasta principios de 2005, cuando empezó a estancarse. Esto se debió a que los grandes yacimientos de la mayoría de los países productores alcanzaron su pico de producción, y empezaron a declinar entre finales de los años 90 a 2004, y en algunos países los nuevos yacimientos fueron de producción cada vez más pequeña. En la actualidad, la gran mayoría de los países productores de petróleo han pasado su pico y están en declive, incluyendo a México, que llegó a su pico de producción en 2004 y cuya producción ha disminuido casi un tercio desde entonces.

El pico o meseta de la producción de petróleo convencional que empezó a principios de 2005, provocó un alza del precio del barril de 50 a 130 dólares en menos de 3 años, y fue un factor determinante en desatar la crisis económica y financiera de 2008-2009. Desde entonces la producción global ha vuelto a incrementarse, lo que ha llevado a algunos comentaristas de medios a clamar que estamos frente a una "nueva revolución energética", y que todavía no está a la vista el pico del petróleo. Pero el modesto incremento de la producción de 2005 a 2014 (alrededor de 6%), se debe esencialmente al llamado petróleo no convencional o petróleo de *lutitas* (*tight oil* o *shale oil*), y que se ha explotado de manera masiva en Estados Unidos. En muchos casos se trata de yacimientos conocidos pero que son inviables económicamente y difíciles de explotar con la tecnología anterior. Pero ha sido posible explotar este petróleo no convencional gracias a algunas mejoras tecnológicas y sobre todo al alto precio del petróleo, que ha llegado a estar por encima de los 100 dólares por barril (Figura 1).

Extracción de petróleo y gas no convencionales

Los hidrocarburos no convencionales son gotas de petróleo y gas atrapadas en rocas de baja o nula permeabilidad, las lutitas. A diferencia de los yacimientos convencionales, en las lutitas el hidrocarburo no puede fluir. Para poder producirlo, una vez alcanzada la profundidad a la que se encuentra la formación productora, el pozo se desvía hasta ponerse paralelo a ella (casi siempre horizontal), para que tenga mayor contacto. Posteriormente se utiliza el proceso de fracturación hidráulica (*fracking*) para romper la roca y poder liberar las pequeñas gotas de hidrocarburo atrapadas en ella. Esto consiste en la inyección de grandes cantidades de agua mezclada con arena y una gran variedad de agentes químicos que permiten fracturar la roca y mantener abiertas las fracturas, para que el hidrocarburo pue-





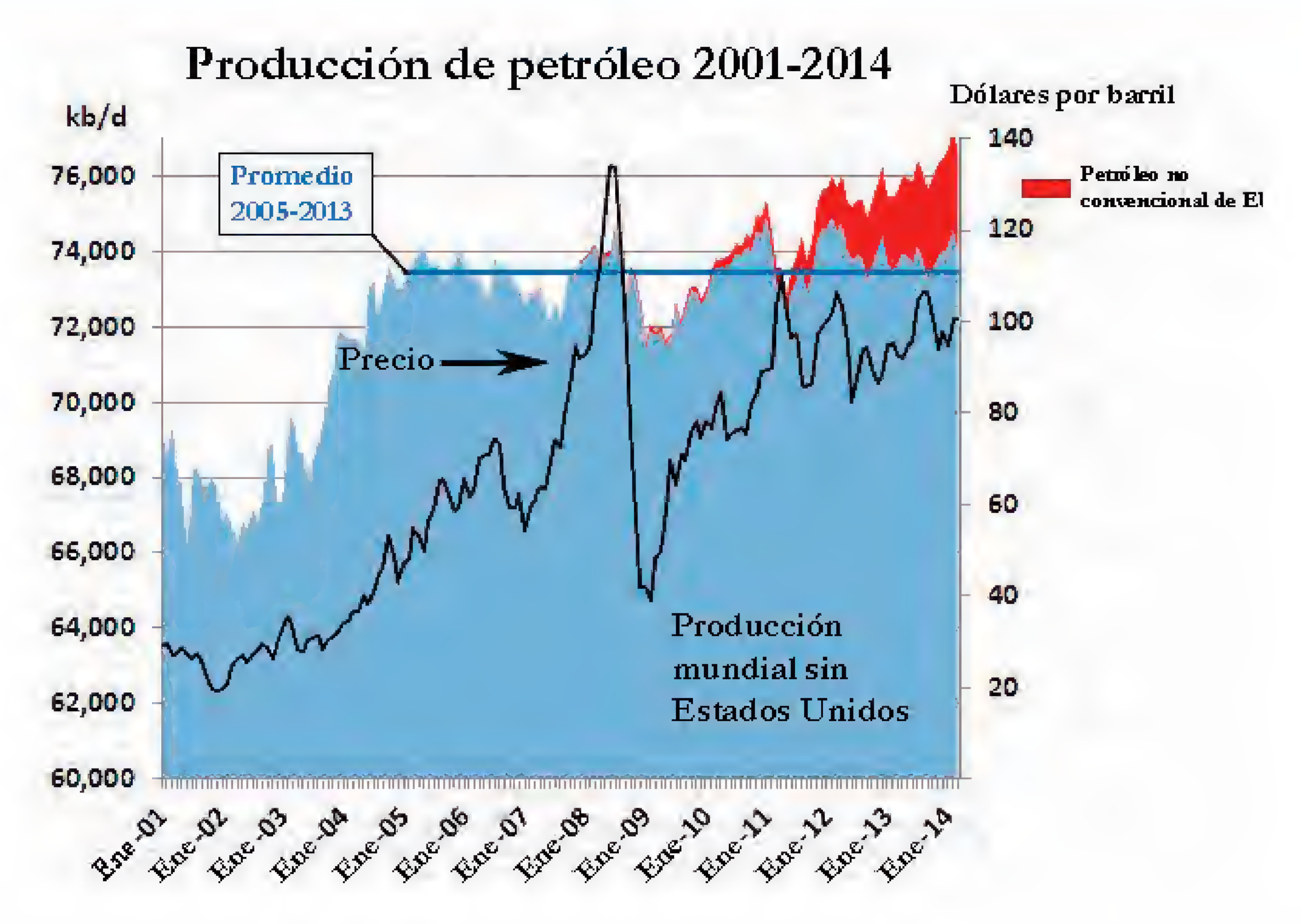


Figura 1. Desde 2008 ha sido posible explotar el petróleo no convencional gracias a algunas mejoras tecnológicas y al bajo precio del petróleo, que ha llegado a estar por encima de los 100 dólares por barril. Fuente: US Energy Information Administration.

da fluir. La cantidad de petróleo y gas que se puede recuperar por este medio (cientos de barriles diarios) es muy inferior a la de un yacimiento petrolero convencional porque solamente se pueden inducir fracturas por unas decenas de metros alrededor del pozo. Sólo en casos excepcionales se puede llegar a pocos cientos de metros. En cambio en los yacimientos convencionales no se necesita *fracking*, y un pozo vertical puede extraer petróleo de zonas más lejanas (hasta varios kilómetros) porque el hidrocarburo fluye a través de la roca permeable que constituye el yacimiento. Los pozos de los yacimientos convencionales pueden producir miles o decenas de miles de barriles diarios de petróleo por décadas (ver cuadro). Lo anterior resalta las diferencias con los métodos no convencionales: 1. para producir petróleo no convencional en las mismas cantidades, se necesita perforar cientos de veces más pozos y 2. el costo de producción es mucho mayor, ya que se tienen que usar técnicas caras como el *fracking*. Finalmente, al igual que en el caso del petróleo convencional, primero se perfora en los mejores sitios (*sweetspots*) y una vez que se agotan, la producción empieza a colapsar.

La experiencia de Estados Unidos

Un estudio detallado de casi 80,000 pozos perforados en Estados Unidos (disponible en el sitio Shalebubble) muestra que un pequeño número de formaciones (2 en el caso del *tight oil* y 5 en el caso del *shale* gas) constituyen más del 80% de la producción. En estas formaciones, la producción inicial de un pozo baja típicamente del 80–95% en los primeros tres años, y la productividad del campo decrece 30–50% por año si se deja de perforar. En cuatro de los cinco principales campos de gas *shale*, la productividad promedio ha estado cayendo desde 2010.

Debido a la baja productividad que tienen los pozos y que su producción cae rápidamente, se necesitan perforar miles de pozos cada año. El costo de producción es muy elevado, y puede variar entre 60 y 110 dólares por barril.

Estos recursos tienen además serios cuestionamientos ambientales, debido a los compuestos que se usan para fracturar la roca y liberar el gas. Algunos de los agentes químicos utilizados son considerados un "secreto comercial", por lo que no se conoce con precisión su toxicidad y los riesgos asociados a los derrames y filtraciones que puedan ocurrir. Sin embargo, una serie de estudios recientes publicados en las mejores revistas científicas han documentado la presencia de compuestos tóxicos, cancerígenos y hasta radioactivos en suelos, aguas superficiales y aguas subterráneas. En condiciones ideales, si las paredes de los pozos están bien selladas, no debería haber filtraciones de estos compuestos hacia los acuíferos someros de donde se extrae el agua potable. Sin embargo al perforar miles de pozos cada año, la probabilidad de un error o accidente se incrementa notablemente.

Por otro lado, una parte del agua contaminada que se usa para el *fracking* vuelve a salir a la superficie, y se junta en grandes albercas a cielo abierto antes de ser reinyectada en pozos de desecho. Parte de los compuestos tóxicos pueden evaporarse o filtrarse al suelo, y también han ocurrido derrames accidentales en el manejo de estos desechos. Además, se han reportados fugas de metano en la atmósfera, un gas de efecto invernadero más poderoso que el bióxido de carbono. La contaminación sonora y el impacto sobre el paisaje y sobre la red vial (por cada pozo se necesitan alrededor de 1,000 viajes de camiones que transportan 20,000 litros de agua y químicos) también es mucho mayor que en el caso del petróleo convencional. La conclusión es que



Dos tipos de hidrocarburos	
Convencional	**No convencional** (*Shale gas* y *tight oil*)
Grandes acumulaciones en rocas permeables que han migrado desde la roca generadora	**Gotas de petróleo y gas atrapadas en rocas de baja/nula permeabilidad (lutitas). Es la roca que genera el petróleo convencional**
El hidrocarburo fluye espontáneamente (por lo menos al principio)	**El hidrocarburo no puede fluir, se necesita facturación hidráulica**
Alta productividad por pozo (miles de barriles diarios) y producción por varias décadas	**Menor productividad por pozo (decenas de barriles diarios), se acaban más pronto (2-3 años)**
Mayor rectuperación (35-45%)	**Menor recuperación (<10%)**
Se explota primero	**Se explota cuando lo bueno declina**
Petróleo barato (5-20 usd por barril)	**Petróleo caro (>70 usd por barril)**

petróleo y gas no convencionales tienen altos costos económicos y mayores daños colaterales al ambiente.

Consecuencias económicas y futuro energético

Lejos de desmentir a los que vaticinan la llegada del pico del petróleo, el haber llegado a la explotación de los recursos no convencionales confirma la predicción: el petróleo de mejor calidad, más fácil de extraer y más barato se está acabando, y el nuevo petróleo es cada vez más caro. Los altos costos de producción del nuevo petróleo, contribuyeron a que los precios del crudo se mantuvieran por casi tres años (de noviembre de 2010 a septiembre de 2014) por encima de los 100 dólares por barril. Este periodo ha sido el más largo de la historia, aún descontando la inflación en estos años. Esto provocó que disminuyera la demanda de los países desarrollados, todos importadores netos de petróleo, cuya economía se quedó estancada o en recesión. La disminución de la demanda junto con una sobreproducción del petróleo de lutitas en Estados Unidos, resultaron en una baja significativa del precio del crudo a partir del segundo semestre de 2014 y, para el inicio de 2015, llegó a la mitad del precio del año anterior.

La baja del precio del petróleo durante 2015 está teniendo consecuencias muy serias sobre la industria petrolera. El primer afectado es el sector del petróleo y gas no convencional de los Estados Unidos, pero también del petróleo de aguas profundas del Mar del Norte. Este último apenas era rentable antes de que empezaran a bajar los precios, porque las grandes empresas petroleras ya estaban recortando los gastos de su exploración.

En el caso del petróleo de lutitas, su extracción en la formación Bakken de Dakota del Norte y Montana (la más productiva) empezó a caer desde abril de 2015. Si los precios actuales continúan, se estima que 75% de los pozos se cerrarán y 2015 representará el pico de la nueva producción de petróleo no convencional de Estados Unidos. En uno o dos años, esto va a provocar que disminuya la producción petrolera global, lo que a su vez podría determinar un nuevo incremento de los precios. Pero será demasiado tarde, porque la industria del *shale* ya está muy endeudada, y al no poder producir de manera rentable, muchas compañías están quebrando y podrían arrastrar consigo a una parte de los bancos de inversión del sector energético.

El breve auge de los hidrocarburos no convencionales en los Estados Unidos nos da la pauta para prever lo que pueden representar estos recursos en México. Los recursos prospectivos no convencionales que ha identificado Pemex son de aproximadamente 60 mil millones de barriles de petróleo equivalente, de los cuales entre 13 mil y 6 mil millones se consideran técnicamente recuperables si el precio del crudo fuera de 90-100 dólares por barril. Ese volumen es la quinta parte de los recursos que se tienen identificados en Estados Unidos, lo que hace suponer que, en el mejor de los casos, el desarrollo del *shale* en México sólo permitirá obtener recursos por unos años. Además, la falta de infraestructura (caminos, ductos, etcétera), el mayor costo del capital y de los insumos, y la menor calidad del recurso





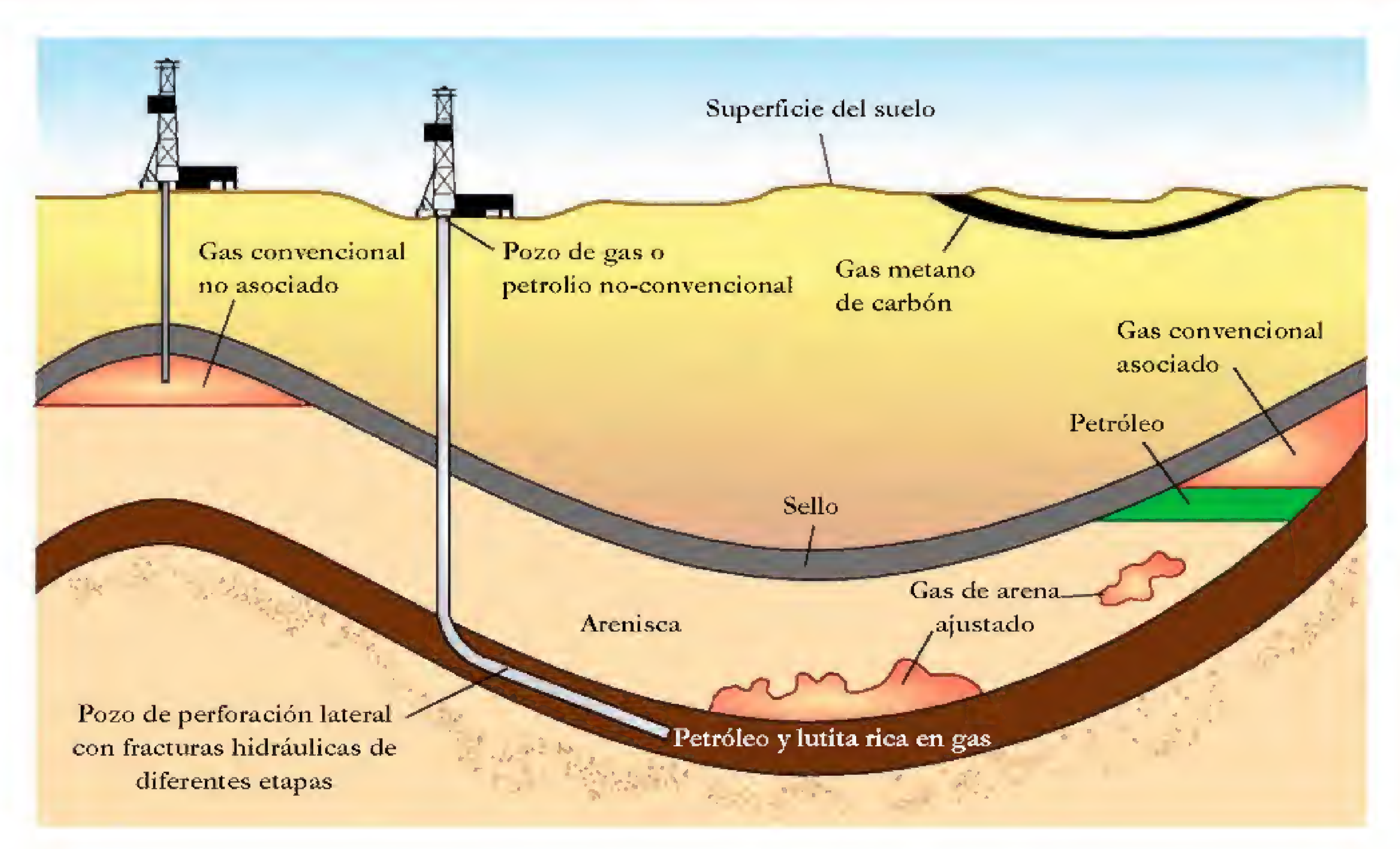


Figura 2. Los hidrocarburos no convencionales son gotas de petróleo y gas atrapadas en rocas de baja o nula permeabilidad. En estos yacimientos el hidrocarburo no fluye, para poder producirlo, es necesario desviar el pozo una vez que se alcanza la profundidad a la que se encuentra la formación productora y inducir permeabilidad por medio de la fractura hidraulica (*fracking*). Fuente: www.eia.gov.

(en México hay principalmente gas seco, que tiene menor valor comercial), indica que el shale mexicano tendría un costo de extracción aún mayor que en Estados Unidos.

Por el momento se ha pospuesto la explotación de gas y petróleo de lutitas en México, pero ojalá que antes de tomar este camino, se compare el costo del desarrollo del *shale* con los costos de fuentes de energía alternativas de más largo plazo.

En todo caso la explotación del petróleo no convencional no revertirá el declive de la producción de México. Es tiempo que México enfrente esta realidad y apueste menos a industrias de uso intensivo de energía (automotriz, aviación, exportación, turismo internacional) para enfocarse más hacia las necesidades nacionales. Se debe procurar la autosuficiencia alimentaria, disminuir el uso de combustibles fósiles, desarrollar energías renovables y disminuir paulatinamente el tamaño de la población. En pocas palabras, en México debemos comenzar a vivir dentro de nuestros medios, sin hipotecar el futuro.

Luca Ferrari. estudió geología en el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Milán, Italia. Obtuvo el doctorado en la misma institución. Llegó a México para hacer un posdoctorado en el Instituto de Geología de la UNAM. Desde 2002 es investigador titular C en el Centro de Geociencias de la UNAM en Juriquilla, Qro. Estudia la tectónica regional de México y el Caribe. Desde 2005 también trabaja el tema del *peak oil* y sus implicaciones para el futuro de la energía y economía. Es premio Universidad Nacional 2015.

Para saber más

- Ferrari, L. 2013. Energías fósiles: diagnóstico, perspectivas e implicaciones económicas. *Revista Mexicana de Física S*, v. 59: 36-43.
- Ferrari L. 2013. Energía finita en un planeta finito. *Revista Digital Universitaria,* V. 14, n. 9.
- Heinberg, R. 2011. *The end of growth: adapting to our new economic reality*. New Society Publishers, 321 p.
- Hughes, J.D. 2014. *Drilling deeper - A Reality Check on U.S. Government Forecasts for a Lasting Tight Oil & Shale Gas Boom.* Post Carbon Institute, 315 p.
- Smil, V., 2010. *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*. ABC-CLIO. 178 p.



Artículo

¿México está preparado para la fracturación hidráulica?

Omar Arellano Aguilar

La reforma energética de 2013 trajo al escenario nacional el tema del procedimiento de extracción de gas lutita, también llamado *fracking*. De inmediato, los grupos ambientalistas manifestaron su preocupación por los impactos negativos al ambiente y la salud. Las redes sociales y algunos documentales como *Gasland* de Josh Fox (2010), que muestra uno de los aspectos más preocupantes del *fracking* en los Estados Unidos, jugaron un papel importante en la difusión masiva del tema. De hecho, la sola búsqueda de "*fracking* en México" arroja más de 550 mil resultados en Google® y 24,600 videos en el sitio de Youtube®. Las organizaciones no gubernamentales han sido muy activas en la elaboración de material de divulgación (por ejemplo la Alianza Mexicana contra el Fracking). El gobierno, en cambio, ha mantenido una campaña de difusión a favor del gas natural y la reforma energética sin tocar el tema de la tecnología de fracturación hidráulica, y los medios de comunicación masiva tradicionales, como la televisión, han intervenido poco en el debate. Nuestra impresión es que, en general, se sigue desconociendo del tema, por lo que la pregunta inicial todavía es válida: ¿el *fracking* representa un riesgo para el ambiente o la salud?

En este trabajo analizamos los datos duros y estudiamos las experiencias de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y los artículos científicos especializados que ha publicado recientemente. Con base en esto, buscamos responder la pregunta con la que titulamos este trabajo: ¿México está preparado para la fracturación hidráulica?

Tecnología de la fracturación hidráulica

El *fracking* o fracturación hidráulica es el proceso mediante el cual se extraen de la tierra hidrocarburos como el gas de la roca de lutita o *gas shale*, y consiste en inyectar agua a alta presión (entre 680 y 1,360 atmósferas) en línea vertical y luego horizontal, a profundidades que superan los 6 mil metros (ver L. Ferrari en este mismo número). Para esta perforación se usa un volumen de agua que va de los 8,000 a los 100,000 metros cúbicos por pozo. El agua se mezcla con sustancias químicas que, según algunos autores, llegan a ser 700, mientras que la EPA reconoce una lista de 930 sustancias, entre las cuales hay sales sódicas, potásicas, metales pesados, solventes, biocidas, glicoles, gomas, alcoholes y naftalenos, entre otros (ver cuadro). Como resultado de la perforación y fracturación de la roca se obtienen el gas y aceite de lutita, junto con agua residual contaminada por las sustancias que se emplearon en la inyección y los materiales que se desprenden del yacimiento. De hecho, las aguas residuales que se obtienen de la perforación representan entre el 10 y 40 por ciento del agua que se inyecta (Figura 1); es decir, que hasta un 60% del agua contaminada queda en el subsuelo.

Se ha dicho que la tecnología del *fracking* representa un paso en la transición energética que reduce la emisión de gases de efecto invernadero producida por los medios actuales de obtención de hidrocarburos. La fracturación hidráulica tuvo su auge en Estados Unidos durante la última década, ya que, entre otras cosas, permitió la reducción de emisiones por la quema de combustible fósil en la generación de energía. Según el reporte de la EPA titulado *Study of the potential impacts of hydraulic fracturing on drinking water resources* (EPA 601/R-12/011) existen 12,173 pozos de extracción, principalmente en Texas (4,859 pozos), Colorado (2,307 pozos) y Virginia del Oeste (93 pozos), aunque datos recientes del registro nacional de sustancias químicas de la fracturación hidráulica indican que hay 99,734 pozos. Entre las cuencas de mayor producción de gas shale se encuentran Barnett e Eagle Ford (Texas), Haynesville (Luisiana), Marcellus (Virginia del Oeste), Woodford (Oklahoma), Antrim (Michigan) y Fayetteville (Arkansas). Al menos son 14 las empresas dedicadas a la extracción de gas cuya producción, tan sólo en el 2012, alcanzó los 0.68 x 1012 metros cúbicos de gas, con un valor promedio de 100 dólares por barril.

Se calcula que las reservas mundiales de gas *shale* alcanzan en promedio los tres mil millones (3 x 1012) de metros cúbicos, que equivalen a 7,229 millones de barriles de petróleo aproximadamente. Los países con los principales yacimientos son China, Argentina, Argelia, Estados Unidos, Canadá, México, Australia, Sudáfrica, Rusia y Brasil. De acuerdo con la





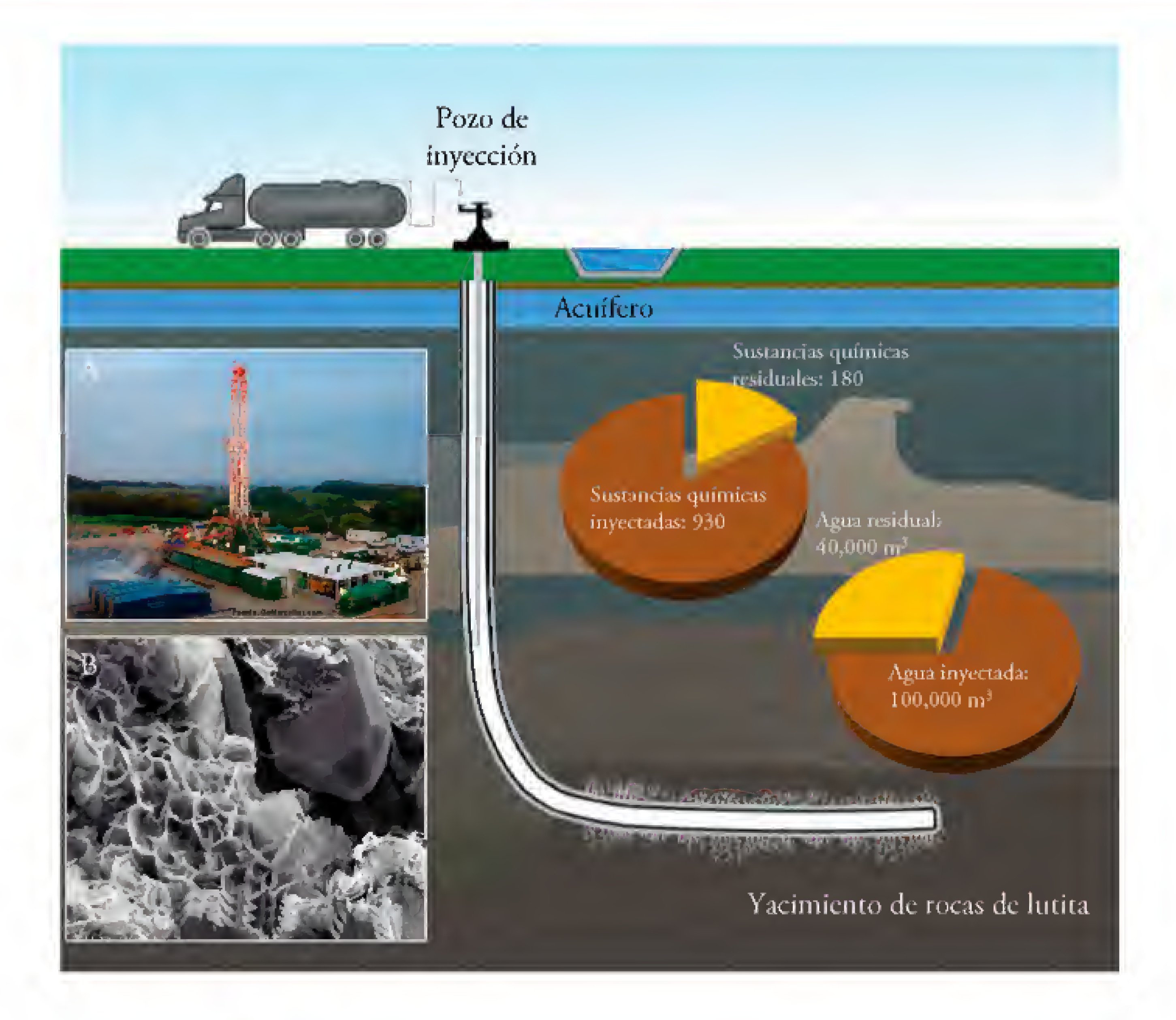


Figura 1. Balance de agua y sustancias químicas usadas durante la operación de pozos de gas *shale*. A) Pozo de extracción de gas *shale* y B) Fotografía de barrido de lutita. Imagen elaboración propia con datos de USEPA 2012 e imágenes modificadas de Marcellus.com y Rojas Rodríguez (2012).

Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH), México cuenta con recursos prospectivos de gas y aceite de lutita equivalentes a 122.1 mil millones de barriles de petróleo crudo. Las principales cuencas están en Burgos (Coahuila), Sabinas (entre Coahuila y Nuevo León), Tampico (Tamaulipas), y Tuxpan (Veracruz). Sin embargo, la perforación de un pozo de gas *shale* no necesariamente significa que sea productivo. La Secretaría de Energía y PEMEX reportaron, en un informe de junio de 2014 para la CNH, que de 15 pozos de exploración construidos en Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, el 33 por ciento resultó ser improductivo. Otras fuentes indican que desde 2003 se han perforado al menos 924 pozos en México. La información no es detallada; únicamente se cuenta con la ubicación (Figura 2).

Riesgos por la fracturación hidráulica

Se debe tomar en cuenta que, como cualquier actividad industrial, el *fracking* conlleva un riesgo tanto para el ambiente como para la salud humana. Por lo tanto, es crucial contar con planes de prevención de accidentes. Esta actividad extractiva requiere grandes cantidades de agua y representa una amenaza de contaminación química para los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, así como para el suelo y la atmósfera, debido a la emisión de contaminantes volátiles y gases de efecto invernadero. Aunado a lo anterior, el trasporte de las materias primas que conforman el fluido de fracturación, así como del gas obtenido, pueden ser factores de riesgo lejos del sitio de perforación.

La primera preocupación es el tema del agua debido a que el consumo por pozo, como se mencionó anteriormente, puede alcanzar hasta 100,000 metros cúbicos. El líquido inyectado se compone 90 por ciento de agua y 10 por ciento del fluido de fracturación. Este volumen de agua es equivalente al que se emplea al regar un millón y medio de hectáreas de cultivos, por lo que representa una presión hídrica muy fuerte para las zonas en donde se pretende perforar pozos *fracking*, también llamados pozos de inyección de agua combinada. Tomando en consideración que las regiones potenciales para el fracking en México están en zonas áridas y semiáridas, la presión hídrica y competencia por el agua se exacerba. Por otro lado, el riesgo de contaminación de los acuíferos y de los cuerpos de agua superficiales es preocupante, pues el fluido de fracturación contiene sustancias altamente tóxicas. Además, el volumen que se inyecta puede alcanzar los 100 millones de litros y el que se dispone en la superficie como agua residual puede ser de 40 millones de litros (Figura 1). Algunos reportes indican que el riesgo de contaminación en el agua subterránea no sólo se debe a la posible infiltración del fluido de fracturación, sino también al *gas shale* que se extrae y que puede alcanzar los pozos de agua potable. Sobre este tema en particular, la EPA ha tenido posiciones contradictorias, pues indica que el número de casos de contamina-



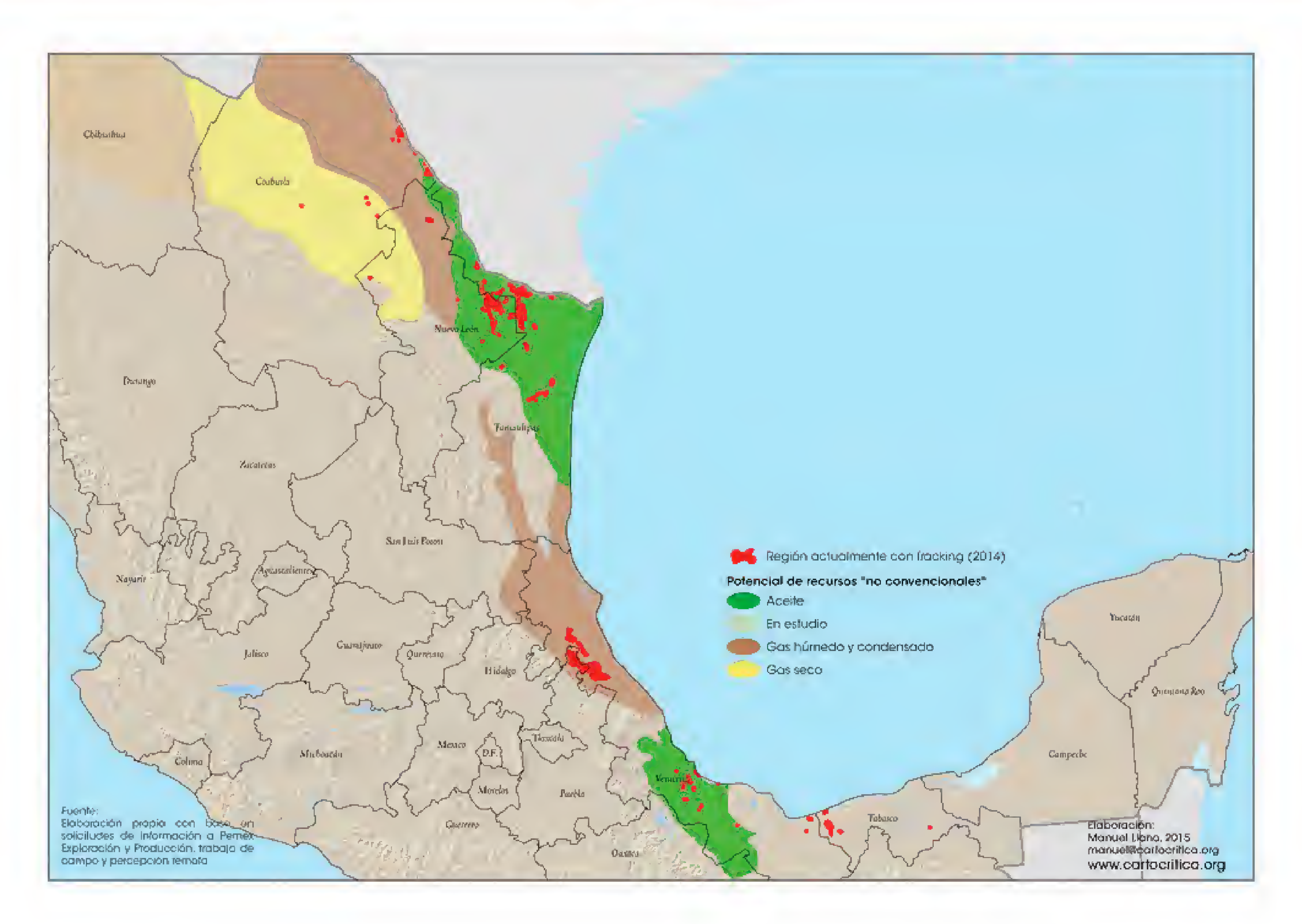


Figura 2. Mapa de la zona con pozos de fracturación hidráulica. Modificado de CartoCrítica.

ción de pozos de agua potable cercanos a pozos de perforación son contados, pero admite que tales estadísticas pueden ser el resultado de la falta de datos de monitoreo durante la producción y la postproducción de gas.

Allen Burton, de la Universidad de Michigan, publicó en el 2012 en la revista *Environmental toxicology and chemistry* un análisis de los riesgos potenciales de exposición y contaminación que ocurren durante las tres fases del proceso de fracturación hidráulica: preproducción, producción y postproducción; es decir, desde la transportación y almacenamiento de los componentes del fluido de fracturación, que representan un riesgo que va de moderado a alto, hasta la extracción de gas y agua residual. Especialmente, el volumen del agua residual tóxica puede alcanzar los 4 mil metros cúbicos por pozo; ésta se deposita en salmueras o se reinyecta al subsuelo. Además de los componentes químicos, el agua residual del *fracking* es hipersalina (siete veces la salinidad del agua de mar) y puede contener sales orgánicas, condensados de carbono orgánico disuelto (por arriba de 5,500 mg/l), residuos de los compuestos químicos empleados en la inyección (más de 800 sustancias y materiales), y niveles tóxicos de bario, estroncio, arsénico y otros metales pesados. Por si fuera poco, el agua residual arrastra materiales radiactivos que se encuentran acumulados en las rocas del yacimiento como el uranio (^{238}U), torio (^{232}Th), radio (^{228}Ra, ^{226}Ra, ^{224}Ra), plomo (^{210}Pb) y polonio (^{210}Po). Una vez que el agua residual se deposita en tanques de salmuera, se ha observado que las condiciones de alta salinidad y falta de oxígeno disuelto (anoxia) propician el crecimiento de colonias bacterianas anaerobias y halotolerantes; es decir, bacterias que viven en condiciones extremas sin oxígeno y salinidad. De hecho, tan sólo la concentración de sales del agua residual de la fracturación hidráulica es suficiente para poner en riesgo la integridad de los ecosistemas acuáticos cercanos en caso de que ocurra un derrame, ya que el aumento de 1 gramo de sales por litro es letal para las plantas e invertebrados de agua dulce. La actividad se ha considerado tan riesgosa, en términos ambientales, que el Comité de las Regiones de la Unión Europea considera que la fracturación hidráulica no es una actividad sostenible a largo plazo.

Consideraciones del marco regulatorio

El *fracking* en México tiene como antecedentes varios estudios realizados desde el 2010 por PEMEX y SENER, a través de la Comisión Nacional de Hidrocarburos. Estos estudios se han enfocado especialmente en el potencial de extracción de gas shale. Sin embargo, en materia de regulación y protección al ambiente durante la extracción de hidrocarburos, los referentes son dos sistemas de administración para la seguridad, salud y protección ambiental de PEMEX, conocidos como Programa de Seguridad, Salud y Protección Ambiental (PROSSPA) y Sistema Integral de



Constituyentes del fluido de fracturación hidráulica		
Grupo	Compuestos químicos	Función
Abrasivos y facturadores	Arenas y basaltos, persulfato de amonio, cloruro de sodio, peróxido de magnesio, cloruro de calcio	Abrasivos para erosionar y romper la roca. Facilitan el desgaste de la roca y estabilizan el producto de la fracturación
Compuestos ácidos	Ácido cítrico, ácido acético, ácido triglicólico, eritorbato sódico, acido hidroclórico	Mantiene el fluido ácido que controla el hierro durante la fracturación de la roca y ayudan a disolver minerales para iniciar el rompimiento de la roca
Agentes de Aditivos en gel	Goma y boratos, petróleo destilado, metanol, etilen-glicol	Aditivos para darle una consistencia viscosa al fluido de fracturación y facilitar la inyección
Reticulantes y estabilizadores	Per-sulfato de amonio, petróleo destilado, metaborato de potasio, zirconato de trietanolamina, ácido bórico, sales de borato, etilen-glicol y metanol	Estabiliza y mantiene la viscosidad del fluido de fracturación con el incremento de temperatura. Además favorece la fluidez en la tubería
Anticorrosivos	N,N-Dimetil formamida, isopropanol y acetaldehídos, metanol, bisulfito de amonio	Evitan la corrosión de la tubería durante la inyección del fluido de fracturamiento
Biocidas	Glutaraldehído, cloruro de amonio cuaternario, sulfato de fosforo-hidroximetiladoamina, aminas y fenoles	Elimina bacterias del agua, evitando que se produzcan compuestos corrosivos que dañen la tubería o que afecten las propiedades del fluido de fracturación
Surfactantes y reductores de fricción	Sulfatos, fosfatos, sulfonatos, fosfonatos, cianuro, etilenglicol, poliacrilamida, metanol, naftaleno, 2-butoxietanol, petróleo destilado	Reducen la tensión superficial del fluido evitando la fricción dentro de las tuberías del pozo. Facilitan la remoción de los fluidos inyectados y previene la formación de emulsiones qué puedan obstruir a los tubos
Amortiguadores de pH	Carbonato de sodio, carbonato de potasio, ácido acético, hidróxido de sodio, hidróxido de potasio	Ajustan el pH del fluido de fracturación y mantienen las características de los demás componentes, particularmente de los compuestos con función reticulante

Fuentes: Vengosh *et al.*, 2014; SENER (2011). *La tecnología de exploración y producción en México y en el Mundo: situación actual.* Comisión Nacional de Hidrocarburos, http://www.fracfocus.org/chemical-use/what-chemicals-are-used.

Administración de Seguridad y Protección Ambiental (SIASPA), que entraron en vigor en 1996 y 1997 respectivamente. En el 2005, ambos sistemas se fusionaron para formar el sistema PEMEX-SSPA, cuyos objetivos se centraron en adoptar un manejo adecuado de las instalaciones, de las metodologías o procesos y del factor humano, así como en identificar los riesgos relacionados con las actividades extractivas.

Actualmente sólo se cuenta con la Guía de criterios ambientales para la exploración y extracción de hidrocarburos contenidos en lutitas como herramienta de regulación de la industria del *fracking*. Ante la falta de normas regulatorias específicas, la guía de criterios usa como referencia 17 normas oficiales mexicanas. Cabe señalar que la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental establece como medida precautoria en el caso de la fracturación hidráulica la elaboración de un "estado base"; es decir, la elaboración de un diagnóstico ambiental previo. Asimismo, propone el desarrollo de indicadores en temas como calidad del aire, suelo, agua, biodiversidad e impacto en el paisaje, incluyendo criterios de sensibilidad ambiental y de restricciones ambientales. Sin embargo, debido a que no existen instrumentos legales que regulen la industria del *fracking*, existe una gran incertidumbre sobre cómo se controlarán y mitigarán los posibles impactos adversos al ambiente, puesto que no sólo se corren riesgos por la contaminación de las fuentes de agua potable o superficiales, sino por otros factores relacionados con el proceso de extracción (ver Ferrari L. en este mismo número).

Con base en las experiencias de la industria del *fracking* en Estados Unidos, se observa que los accidentes más frecuentes son: rupturas de tanques de almacenamiento, colisiones durante el transporte de sustancias químicas, derrame de las salmueras, incendios y fisuras en el pozo, y especialmente contaminación de acuíferos, la cual es muy grave puesto que no



existen métodos para el saneamiento de acuíferos. Asimismo, la EPA informa que no se puede pasar por alto la posibilidad de que las empresas incurran en delitos ambientales. Por ejemplo, a pesar de que en Estados Unidos se toman medidas estrictas de seguridad, la Agencia Ambiental ha reportado irregularidades por parte de los operadores. En Arkansas, la EPA informó que de 305 reportes el 22 por ciento mostraba cómo las empresas habían afectado los cuerpos de agua superficiales por mal uso en lo referente a los métodos de operación; 10 por ciento relacionado con descargas ilegales al ambiente y 10 por ciento relacionado con derrames accidentales en arroyos cercanos a los pozos.

Dado que nuestro país aún no cuenta con un marco regulatorio específico para la fracturación hidráulica, que las capacidades técnicas para el monitoreo y la evaluación de riesgos ambientales requieren un mayor fortalecimiento y que la procuración de justicia ambiental aún es limitada, es claro que en México no existen actualmente las condiciones de seguridad necesarias para prevenir los riesgos y daños ocasionados durante la explotación del *gas shale*. Por esto, recomendamos fortalecer el marco regulatorio para la protección y prevención de riesgos ambientales relacionados con la fracturación hidráulica, fortalecer los mecanismos de vigilancia ambiental, y verificar que se haga un buen uso por parte de la industria. Es fundamental que las empresas que se incorporen en los próximos años a la extracción de gas shale elaboren un reporte completo de sus actividades, y que incluyan una lista de las sustancias que emplean, especificando el volumen de las mismas. En Estados Unidos, las empresas petroleras informan sobre la ubicación de pozos de extracción a través de comisiones gubernamentales, para que la ciudadanía tenga conocimiento de los lugares en los que se lleva a cabo esta actividad y se informe en caso de accidentes. Cabe señalar que si bien México ha sido identificado como un país importante para la producción de gas shale, es indispensable discutir ampliamente la pertinencia de este tipo de industrias, tomando en cuenta que nuestro país se enfrenta actualmente a una situación hídrica difícil, tanto por los escenarios de cambio climático como por el rezago en la protección de los recursos hídricos y ecosistemas acuáticos.

Omar Arellano Aguilar. Es biólogo y doctor en ciencias por la UNAM. Es profesor de carrera Asociado C, del Departamento de Ecología y Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Sus líneas de investigación son evaluación de riesgo ambiental y de salud por exposición a contaminantes ambientales y ecotoxicología acuática.

Para saber más

- Burton, A.G., N.N. Basu, B. Ellis, E. Kapo, S. Entrekin y K. Nadelhoffer. 2014. Hydraulic *fracking*: are surface water impacts and ecological concern? *Environmental Toxicology and Chemistry,* 33:1679-1689.
- Comité de las Regiones de la Unión Europea. 2013. *Perspectivas de los entes locales y regionales respecto del gas y petróleo de esquisto/estático (hidrocarburos no convencionales)*. CDR de la Unión Europea. Octubre 2013 ENVE-V-034.
- Jackson, B.R., A. Vengosh, J.W. Carey, J.R. Davis, H.T. Darrah, F. O´Sullivan, G. Pétron G. 2014. The environmental costs and benefits of fracking. *Annual Review of Environment and Resources,* 39:1-7.
- PEMEX. 2014. *Seguimiento a la exploración y extracción de aceite y gas en lutitas*. Base de datos institucional: Información de reservas enviada a la CNH. PEMEX-SENER.
- Sourther S., M. Tingley, V. Popescu, *et al.* 2014. Biotic impacts of energy development from shale: research priorities and knowledge gaps. *Frontiers in Ecology and the Environment,* 12:330-338.
- Vengosh A., Jackson R., Warner N., Darrah HT., Kondash A. 2014. A critical review of risk to water resources from un convencional *shale* gas development and hydraulic fracturating in the United States. *Environmental Science and Technology,* 48:8334-8348.



Hecho en casa

Cantando en una ciudad ruidosa: el gorrión mexicano en la ciudad de México

Bermúdez Cuamatzin Eira. 2014. *Consecuencias del ruido ambiental en la comunicación acústica del gorrión mexicano* (*Carpodacus mexicanus*). **Instituto de Ecología. Tesis de Doctorado en Ciencias Biomédicas, UNAM. Director de tesis: Constantino Macías García.**

Revoloteando en nido destruido
un gorrioncillo pecho amarillo
con sus alitas casi sangrando su pajarita anda buscando
cuando se cansa se para y canta y hasta parece que está llorando
cuando se aleja se va cantando sólo dios sabe que va llorando…

M. Aceves Mejía

La canción *Gorrioncillo pecho amarillo* de Miguel Aceves Mejía e inmortalizada por Pedro Infante, nos recuerda el canto melancólico del gorrión o pinzón mexicano, *Haemorhous mexicanus* (antes *Carpodacus mexicanus*) un ave común en varias ciudades de nuestro país. En una urbe como la de México, el ambiente ha cambiado mucho desde 1954, cuando se escribió esta canción. De la década de 1950 al año 2000, la población de la ciudad creció de casi tres millones de habitantes a más de18 y, debido a este aumento poblacional, hoy en día circulan varios millones de autos (más de 4, según estadísticas de INEGI de 2012), todo lo anterior genera una gran cantidad de ruido antropogénico. Una ciudad ruidosa implica grandes retos para las aves que viven en ella y que se comunican por medio de sonidos vocales, como los cantos, ya que el ruido puede enmascararlos y afectar así su comunicación.

Comunicación sonora de las aves en el ruido

Los animales se comunican entre sí de diferentes maneras, una de ellas es emitiendo sonidos (sonora), pero también lo hacen por medio de señales químicas, a través de la vista (visual) o del tacto (táctil). Dos de estas formas de comunicación que son ampliamente usadas por las aves, son la sonora y visual. Es decir, las aves emiten sonidos vocales, como los cantos, y además muestran sus coloridos plumajes que son un atractivo visual para las posibles parejas. Las aves producen sonidos vocales de dos tipos: los cantos y los llamados. Los llamados son sonidos simples y cortos, con los que las aves de ambos sexos y de todas las edades pueden indicar por ejemplo, que hallaron comida, que necesitan contacto físico, que tienen hambre o que se acerca un depredador. En cambio, los cantos son vocalizaciones más complejas y largas que generalmente emiten los machos durante la época de reproducción, lo que les ayuda a conseguir pareja y defender sus territorios de otros machos intrusos. Entonces es obvio que tanto los llamados como los cantos tienen funciones muy importantes para las aves, ya que los emplean en situaciones inmediatas de vida o muerte, y también en cuestiones reproductivas. Por lo anterior no es difícil imaginar las nefastas consecuencias que puede provocar la interferencia del ruido en sus vocalizaciones.

En las ciudades el ruido es producido por el tráfico aéreo, terrestre, industrias y por las actividades de ocio, como por ejemplo un concierto de rock. Actualmente, el crecimiento de los núcleos urbanos a nivel mundial ha provocado que el ruido antropogénico se incremente de manera alarmante, y que esté presente casi en cualquier lugar y momento. Este incremento en los niveles de ruido interfiere con las vocalizaciones de las aves, lo cual implica que el receptor (un ave de la misma o de diferente especie) tenga dificultad para detectar los cantos o llamados del ave que los emite, lo que finalmente ocasionará que la comunicación no se dé correctamente.

Diversos científicos que han hecho investigación en ciudades de diferentes partes del mundo han reportado que la densidad, riqueza, diversidad y éxito reproductivo de las poblaciones de aves que habitan en lugares con más ruido, disminuye en comparación con aquellas que viven en lugares menos ruidosos (por ejemplo, cerca y lejos del tráfico de carreteras) y por supuesto con el ruido de los ecosistemas naturales. Sin embargo, en décadas recientes algunos investigadores especialistas en bioacústica, es decir, quienes estudian los sonidos de los animales,



se pusieron a indagar qué sucede con las vocalizaciones de las aves cuando el ruido puede enmascararlas. Estos estudios mostraron que las aves no están indefensas cuando sus vocalizaciones son enmascaradas, ya que han desarrollado modificaciones o ajustado sus cantos y llamados, de tal forma que pueden hacer frente al ruido que existe en los lugares que habitan. Algunos de estos ajustes se producen en el tiempo, por ejemplo cantan en el momento del día en el que hay menos ruido, o cambian la longitud de sus llamados para que se escuchen durante un momento de silencio. Otra manera de ajustar es aumentando la intensidad o energía (expresada en decibeles: dB) de sus vocalizaciones, algo que frecuentemente también hacemos nosotros cuando platicamos cerca de una avenida ruidosa, lo haremos con más energía o más fuerte para poder escucharnos. Otra modificación que han hecho las aves es el aumento en la agudeza o frecuencia (expresado en Hertz: Hz) de sus vocalizaciones, las aves emiten cantos agudos porque si emitieran cantos graves, éstos quedarían encubiertos por los sonidos graves o de bajas frecuencias del ruido urbano.

Decibelio medida que refleja la intensidad o energía de un sonido.

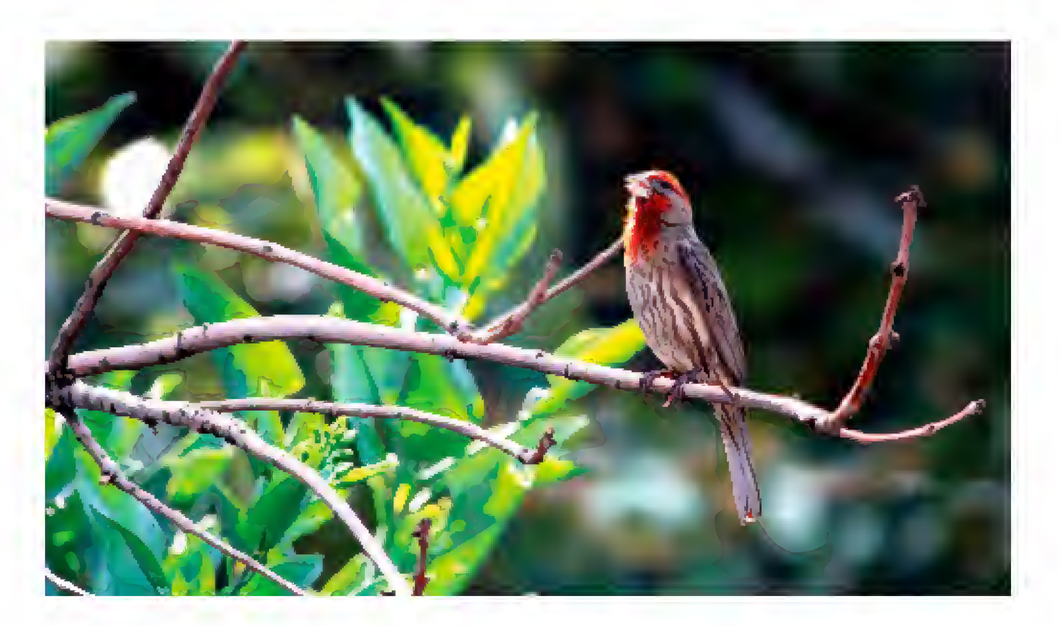


Figura 1. Macho de gorrión mexicano cantando. Esta especie es muy común en Canadá, Estados Unidos y México incluyendo ambientes antropogénicos como la ciudad de México. Foto: C. A. Montes.

Estudiando el canto del gorrión mexicano en una ciudad ruidosa

El objetivo principal de mi investigación doctoral fue estudiar cómo el gorrión mexicano ajusta o modifica sus vocalizaciones para hacer frente al ruido antropogénico de los lugares que habita. El gorrión mexicano es un ave que pertenece al grupo de los Paseriformes, aves conocidas también como canoras o simplemente pájaros. Dentro de esta clasificación hay otros dos grupos, las aves que aprenden el canto y las que no (oscinas y subocinas respectivamente). El gorrión mexicano pertenece a las oscinas. Las aves oscinas, entre otras características, tienen un aparato fonador más desarrollado, gracias al cual pueden producir vocalizaciones más complejas y diversas que los suboscinos. Asimismo, las estructuras del cerebro relacionadas con la producción y aprendizaje del canto están más desarrolladas. Estas características hacen del gorrión mexicano —muy común y abundante en áreas urbanas y sub-urbanas— una especie útil para estudiar los ajustes vocales (Figura 1).

¿Es diferente el canto de los gorriones que viven en lugares ruidosos y silenciosos?

Lo primero que me pregunté fue si los cantos de los machos de gorrión mexicano que viven en zonas ruidosas y silenciosas de la Ciudad de México (una de las ciudades más grandes, y presumiblemente estruendosas del mundo), se diferenciaban en cuanto a longitud o en agudeza. Para poder contestar esta pregunta recorrí la ciudad ubicando zonas contrastantes en cuanto a nivel de ruido antropogénico. Las áreas más ruidosas estaban cerca de avenidas con mucho tráfico, mientras que los lugares con menos ruido o silenciosos, se encontraban dentro de áreas residenciales. Grabé a 35 machos de gorrión mexicano cantando y registré los niveles de ruido ambiental en decibeles (dB). Al medir y analizar los parámetros de los cantos de los gorriones, no encontré que cambiara su longitud, lo que indica que la población de gorrión mexicano estudiada no emplea la estrategia de temporalidad como lo hacen otras especies (e incluso esta misma especie) en ciudades de California, Estados Unidos, donde también se han hecho estudios. En una población de California se encontró que los machos que viven en zonas de mucho ruido emiten cantos más cortos para hacerse escuchar en algún momento de silencio. Sin embargo, el que los machos de la Ciudad de México no reduzcan la longitud de sus cantos debido al ruido puede beneficiarlos, ya que se sabe por otros estudios, que a las hembras de esta especie son atraídas y prefieren aparearse con machos de cantos más largos. Por otro lado, encontré que los machos de zonas ruidosas emiten cantos más agudos que los de zonas con menos ruido. Este cambio en la agudeza o frecuencia (Hz) se da en particular en la mínima del canto, que es la más baja y la más susceptible a enmascararse por las bajas frecuencias del ruido urbano (Figura 2). Esto sugiere que el cantar más agudo les puede estar ayudando a evitar los altos niveles de ruido a su alrededor.

Durante esta primera parte de mi trabajo, tuve la fortuna de contar con 12 grabaciones de cantos en las que repentinamente aumentaba el ruido ambiental debido a que por ejemplo, pasaba cerca un auto o moto haciendo mucho ruido. Analicé si estos machos aumentaban la agudeza o frecuencia mínima de sus cantos cuando subía súbitamente el ruido. Observé que 9 de los 12 machos inmediatamente elevaban la frecuencia mínima de sus cantos. Estos hallazgos sugirieren que los machos del gorrión mexicano son capaces de realizar un ajuste en ese mo-



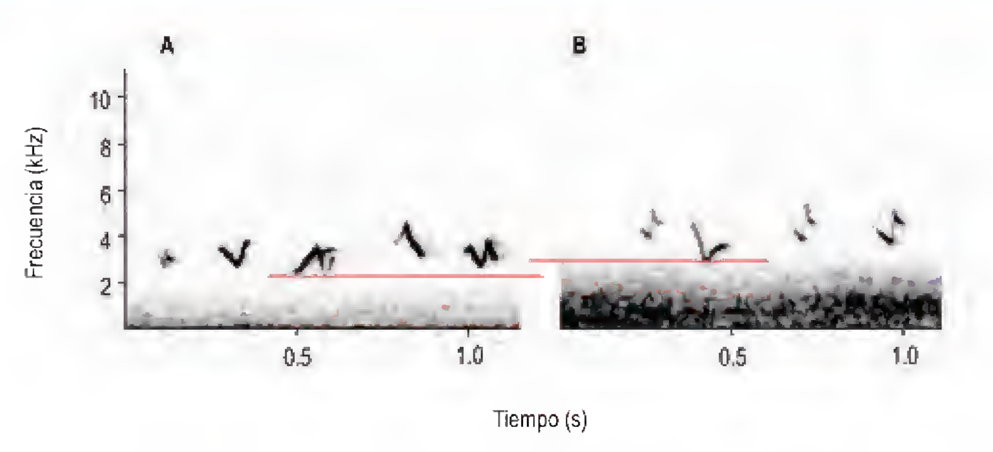


Figura 2. Ejemplos de cantos del gorrión mexicano de la ciudad de México: (A) canto de un gorrión grabado en lugar silencioso (B) canto de un macho sobre una avenida ruidosa. Los cantos se pueden observar por medio de estos gráficos llamados espectrogramas, en los que se aprecian los trazos que conforman cada elemento que compone el canto completo del ave. El eje (y) es el de la frecuencia (kHz) o agudeza del canto. Los sonidos más graves tienen valores más bajos y los sonidos agudos más altos. El ruido está representado como la parte más obscura debajo del canto (entre más obscuro la intensidad del sonido es mayor). Obsérvese que en la imagen B hay más ruido. En cada canto la línea horizontal muestra el valor mínimo de agudeza del canto y como se puede ver, esa agudeza es mayor en la zona con más ruido de fondo, lo que le ayuda al ave a que su canto sobresalga del ruido. Modificado de *Behaviour*, 146:1269-1286.

mento, de acuerdo con los niveles de ruido circundantes. Estas observaciones me llevaron al siguiente paso de mi investigación: confirmar experimentalmente, que esto efectivamente era así.

¿Un gorrión puede cambiar su canto inmediatamente si cambia el ruido circundante?

La segunda parte de mi estudio consistió en confirmar si el gorrión mexicano modifica la agudeza del canto debido al ruido, y precisar si esto es un ajuste que los gorriones pueden realizar a corto o largo plazo. Con ajuste a corto plazo me refiero a que los machos pueden lograr cambiar su canto de manera flexible e inmediata de acuerdo a los niveles cambiantes de ruido de su entorno, tal como lo observé en 9 de las 12 grabaciones mencionadas anteriormente. Esta flexibilidad se conoce en biología como *plasticidad fenotípica*. Pero existe otra posibilidad, que se conoce como las estrategias a largo plazo, y éstas se relacionan con cambios evolutivos de las especies. En este caso el ruido sería un factor de presión de selección, y los machos que siempre cantan de una forma en particular, por ejemplo los que no se enmascaren con el ruido tendrán la ventaja de ser escuchados por una hembra, por lo que serán favorecidos por la selección natural, mientras que aquéllos que su canto se pierde con el ruido son seleccionados en contra, es decir morirán sin dejar descendencia.

Para determinar el tipo de ajuste a corto o largo plazo que emplea el gorrión mexicano, realicé un experimento en el que expuse a 21 machos silvestres de la Ciudad de México y de San Luis Potosí a grabaciones de ruido urbano de la ciudad de México. Lo llevé a cabo en una arena experimental al aire libre, en la reserva del Pedregal, en las instalaciones del Instituto de Ecología de la UNAM (Figura 3). Durante el experimento utilicé una grabación con dos niveles diferentes de ruido: bajo (44-55 dB) y alto (56-65 dB), en una secuencia de bajo a alto y por último bajo. De los 21 machos que estudié, únicamente 10 cantaron durante la primera y segunda parte de la secuencia, es decir bajo y alto. Posteriormente, los 10 individuos que primero fueron expuestos a alto ruido luego fueron sometidos a bajo nivel y sólo cinco continuaron cantando en la tercera parte de la secuencia. Grabé y analicé cada uno de los cantos emitidos por los machos en los 3 estímulos acústicos. Encontré que la agudeza del canto al pasar del estímulo de bajo a alto nivel de ruido aumentaba de manera significativa y que disminuía cuando pasaba de alto a bajo. Estos resultados son evidencia de que los machos de gorrión mexicano modifican a voluntad, e inmediatamente, la agudeza de sus cantos dependiendo del nivel de ruido que escuchan: si es elevado aumentan la agudeza para evitar que se enmascare, pero si el nivel baja, ellos también disminuyen su agudeza porque ya no necesitan competir con el ruido externo. Este estudio fue de los primeros en reportar experimentalmente dicha capacidad plástica en una especie de ave que aprende el canto (ave oscina).

> *Plasticidad fenotípica* se entiende como la facilidad de un individuo para ajustarse a los cambios en el ambiente.

Durante este mismo experimento también indagué si cambiaban los elementos del canto de un mismo individuo como respuesta a las dos condiciones de baja y alta intensidad de ruido. En esta ocasión solo me centré en estudiar los elementos del canto que tienen la menor agudeza, porque son los más susceptibles de ser enmascarados por el ruido de frecuencias bajas. Hallé que los machos además de usar los mismos elementos (que llamaré sílabas) también utilizan sílabas de diferentes tipos. Cuando emiten cantos con los mismos tipos de sílabas durante la exposición al ruido, lo que hacen es aumentar la agudeza del canto, pero lo vuelven más corto (Figura 4). El que los cantos se acorten por el ruido, es una estrategia que han descrito los ornitólogos en varias especies y el hallazgo de mi trabajo se suma a esta evidencia. Por otro lado, también hallé que cuando usan diferentes tipos de sílabas apenas y se modifica la frecuencia mínima del canto, el largo del canto no se modifica, pero las sílabas se alargan.

El que se alarguen los elementos de las vocalizaciones es una estrategia que se observó en los llamados del tití común cuando es sometido experimentalmente a ruido elevado. Los resultados de mi experimento con gorriones mexicanos indican que esta especie utiliza dos estrategias al cantar cuando se enfrenta al ruido urbano: 1. hacer su canto más agudo aumentando la frecuencia mínima de su canto y 2. ajustar la longitud del canto, es decir acortar o alargar las sílabas menos agudas. Estas observaciones pueden ayudar a explicar porqué esta especie es muy común y abundante en ambientes urbanos; su capacidad de hacerle frente al ruido antropogénico de manera flexible e inmediata utilizando al menos dos estrategias distintas indica que es una especie plástica.

Concluyendo, los ajustes de las vocalizaciones del gorrión mexicano en respuesta al ruido urbano, pueden ser una estra-





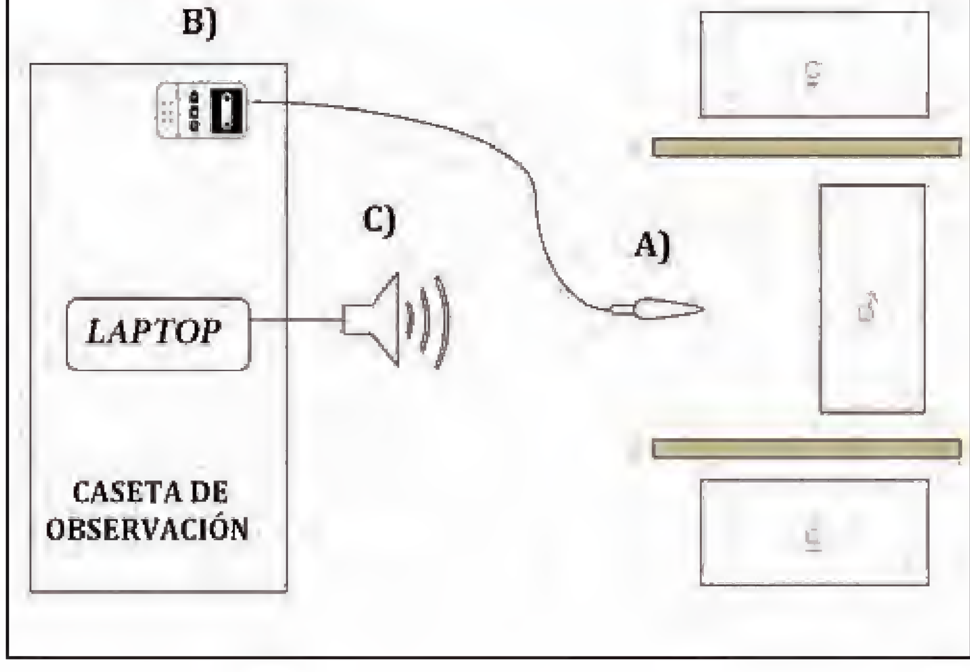


Figura 3.- Diagrama que describe cómo se colocó el experimento en el área abierta. Las jaulas de los individuos empleados en los experimentos están representadas por rectángulos al lado derecho, en el centro se colocó al macho y a cada lado dos hembras que podían escucharlo pero no verlo, lo cual servía para incitarlos a cantar. En marrón están indicadas las barreras físicas entre las jaulas. El micrófono (A) está frente a la jaula del macho y se conectó a la grabadora (B). Los estímulos de ruido se reproducían por una *laptop* conectada a una bocina (C) desde una caseta de observación a 2 metros del macho a prueba. Imagen: E. Bermúdez Cuamatzin. Modificado de *Behaviour*, 146:1269-1286.

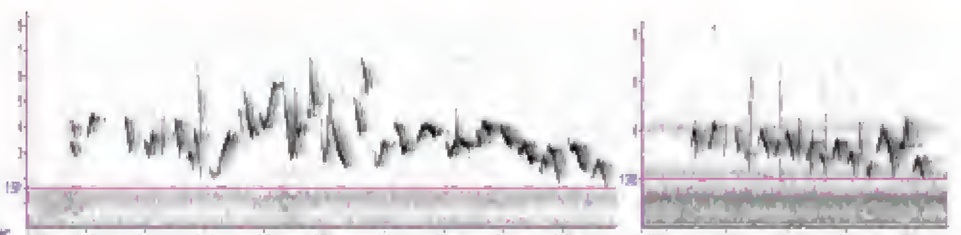


Figura 4. Los cantos de las gráficas A y B pertencen al mismo macho. El canto en B lo emitió cuando se reproducía ruido urbano en un nivel alto, mientras que el canto A fue grabado con un nivel de ruido bajo. La línea rosa indica qué tan agudos son ambos cantos, y podemos observar que el canto emitido es menor en A (1.5 kHz) con respecto al ruido elevado en B (1.9 kHz). El recuadro azul muestra la sílaba de menor agudeza del canto. Tanto en A como en B podemos observar que es el mismo tipo de sílaba y, como se aprecia en B, cuando esto sucede el canto es de menor longitud durante ruido elevado. Modificado de *Biology Letters*, 7:36-38.

tegia de algunas aves para adaptarse a vivir en ambientes ruidosos. Esto lo respaldan observaciones en otras especies de aves paserinas oscinas, como por ejemplo, el gorrión cantor (*Melospiza melodía*), el carbonero común (*Parus major*), el mirlo (*Turdus merula*), el escribano palustre (*Emberiza schoeniclus*) y el mosquitero común (*Phylloscopus callybita*): todas estas especies usan la estrategia de cambiar sus cantos cuando están expuestas a niveles de ruido antropogénico elevados. Sin embargo, más estudios se deben centrar en indagar si esta capacidad de las aves para ajustar el tiempo que cantan, así como su agudeza como respuesta al ruido, es una habilidad que se ha propagado ampliamente en las aves del grupo de los paserinos, o si se limita al subgrupo de los oscinos que, recordemos, tienen especial capacidad de aprender el canto. Los primeros estudios indican que los oscinos son menos vulnerables a la contaminación sonora que los suboscinos y se ha visto que pueden colonizar ciudades o hábitats novedosos desde el punto de vista acústico.

También se debe continuar la investigación para entender el cambio en las vocalizaciones de las aves como respuesta a las alteraciones rápidas de su entorno sonoro. Esto nos podrá ayudar a conocer la evolución de sus vocalizaciones, y lograremos entender el impacto que esto tiene en la adecuación o adaptación de las especies. Comprender estos procesos tiene implicaciones importantes para conservar a las aves, ya que así se podrán plantear propuestas que ayuden a mitigar los efectos del ruido de las ciudades en la comunicación de las aves. Sería inimaginable un parque citadino sin los cantos emblemáticos de los gorriones (y otras aves) que han dado origen a canciones tan clásicas como la que se cita en el inicio de este texto.

Dra. Eira Bermúdez Cuamatzin. Está realizando un proyecto de postdoctorado en el Laboratorio de Interacciones Biológicas del Centro de investigaciones Biológicas en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y colabora con el Dr. Hans Slabbekoorn de la Universidad de Leiden, Holanda. Su doctorado es del Posgrado en Ciencias Biomédicas de la UNAM y su licenciatura de Biología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Para saber más

- Bermúdez-Cuamatzin E., A.A. Ríos-Chelén , D. Gil y C. Macías Garcia 2009. Strategies of song adaptation to urban noise in the house finch: syllable pitch plasticity or differential syllable use? *Behaviour*, 146:1269-1286.
- Bermúdez-Cuamatzin E., A.A. Ríos-Chelén, G. Diego y C. Macías Garcia. 2011. Experimental evidence for real-time song frequency shift in response to urban noise in a passerine bird. *Biology Letters*, 7:36-38.
- Bermúdez-Cuamatzin E. y H. Perdomo Velázquez. 2014. Aprender a cantar con ruido urbano. Un desafío acústico y de sobrevivencia. *Ciencia y Desarrollo*, 272:42-45.
- German-González, M. y A.O. Santillán. 2006. Del concepto de ruido urbano al de paisaje sonoro. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 1:39-52.



Noticias

Agroecología y sostenibilidad: crear conocimiento desde el campo y la academia

Mariana Benítez y Lev Jardón-Barbolla

En México, como en muchas partes del mundo, se han puesto en marcha numerosas prácticas y programas de producción agroindustrial con la promesa de terminar con el hambre y la malnutrición. Sin embargo, Urquía-Fernández señala en su trabajo *La seguridad alimentaria en México*, que en el país, el hambre y la malnutrición exhiben diferentes manifestaciones: hay 14% de desnutrición infantil, 30% de la población adulta sufre de obesidad y más de 18% de la población está en pobreza alimentaria. Chapell y colaboradores explican en su artículo *Food sovereignty: an alternative paradigm for poverty reduction and biodiversity conservation in Latin America* que, al mismo tiempo que los insumos para la agricultura y ganadería (insecticidas, herbicidas, fertilizantes, semillas, etc.) se han ido haciendo más caros, la migración del campo a las ciudades ha aumentado, así como el número de jornaleros en grandes plantaciones, quienes reciben salarios miserables. Por otra parte, según el artículo *Estado actual y dinámica de los recursos forestales de México* publicado en *Biodiversitas*, de CONABIO cada año perdemos cerca de 500 mil hectáreas de bosques y selvas, los cuales frecuentemente se transforman en campos de cultivo industrializados que contaminan y degradan el agua, suelo y aire.

Al estudiar científicamente los problemas de producción alimentaria y de degradación ambiental es necesario reconocer que todos están interrelacionados y son parte de un mismo sistema económico y socioambiental. Dada esta interacción, consideramos que es imposible aspirar a la soberanía alimentaria al mismo tiempo que se preserva el patrimonio natural de nuestro país, si no abordamos estos problemas de forma conjunta. Sin embargo,



Asistentes al encuentro frente al centro cultural de Zaachila, en donde se llevaron a cabo las plenarias, talleres y mesas de trabajo. Foto: S. Arau y A. Moctezuma.





Visita a la parcela demostrativa de productor en una de las unidades de riego de Zaachila. Foto: S. Arau y A. Moctezuma.

algunos sectores de las universidades parecen aislarse de los problemas nacionales, sobre todo de su componente social y económico, o es posible que reconozcan estos problemas, pero sugieren que la solución va a surgir solamente desde un aula, un laboratorio o una oficina de gobierno, sin considerar a los habitantes de comunidades rurales y urbanas, ni su conocimiento, experiencia y necesidades. Más aún, como lo han señalado R. Levins y R. Lewontin desde hace décadas (por ejemplo véase *The Dialectical Biologist*), muchas de las propuestas de vinculación entre las universidades y el resto de la sociedad suelen ignorar la desigualdad y el conflicto entre los distintos sectores, o conciben al conocimiento como mercancía, utilizándolo en ocasiones para legitimar políticas y tecnologías que agudizan los problemas sociales.

Ante este panorama, la agroecología es un área de la investigación que puede involucrar a la sociedad haciéndola partícipe de la adquisición del conocimiento, conjuntando la experiencia de científicos y campesinos. De igual manera plantea aprovechar la biodiversidad de los propios agroecosistemas y del paisaje ecológico en el que están inmersos. De esta forma se busca alcanzar la soberanía alimentaria y así disminuir el uso de insumos externos y sus posibles efectos negativos en el ámbito socioambiental. Ante este panorama nos preguntamos ¿qué hacer para aprender y trabajar desde la agroecología, abordando los complejos problemas que vemos en el campo y la ciudad, en la parcela y las universidades?

Agroecología en Zaachila, Oaxaca... ¿quiénes y cómo trabajamos ahí?

Con el fin de avanzar colectivamente en la búsqueda de respuestas, un grupo de académicos de distintas áreas del conocimiento y organizaciones campesinas planeamos un encuentro para que ambos sectores escucharan, intercambiaran y aprendieran las formas de conocimiento del otro sector. Conocíamos distintas experiencias, por ejemplo en Cuba, en las que la convivencia en un espacio compartido permitió hablarse y escucharse entre campesinos y universitarios, lo que ha fortalecido el conocimiento de ambas partes. Además, gracias a estas experiencias ambos grupos han podido enfrentar mejor algunos problemas como la incidencia de plagas, la erosión de suelos y la pérdida de agrobiodiversidad. Así, planeamos una experiencia de intercambio y trabajo en los valles centrales de Oaxaca, específicamente en la Villa de Zaachila. Decidimos trabajar en esta ciudad porque es de gran tradición campesina y porque está situada en uno de los estados del país con mayor diversidad biológica, agrícola y cultural.

Zaachila tiene una larga historia de defensa de sus tierras y de organización comunitaria para el trabajo, el manejo de bienes comunes y también para las fiestas y otras tradiciones. Además, ya trabajaban en la región algunos promotores agroecológicos y colegas del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Para los organizadores, el encuentro de hecho inició un año antes de la inauguración, a principios del 2014, cuando empezamos a trabajar y a conocernos entre universitarios, productores, organizaciones campesinas y organizaciones civiles.

Como parte de la organización, nos reunimos muchas veces previamente, tanto en grupos pequeños como en asambleas grandes. Estas reuniones nos sirvieron para identificar los problemas y temas que deberíamos de trabajar durante el encuentro que se llevaría a cabo en abril del 2015. Como resultado de estas reuniones preparatorias, nos planteamos los siguientes objetivos: 1. intercambiar experiencias entre productores, promotores y científicos en temas relacionados con la agroecología y soberanía alimentaria; 2. generar líneas de trabajo colectivo ; 3. divulgar la experiencia del trabajo en agroecología en diferentes sistemas de producción; 4. fortalecer y promover redes de consumidores, productores y promotores agroecológicos y 5. evaluar la posibilidad de crear un espacio permanente de intercambio y construcción del conocimiento agroecológico en la Villa de Zaachila.



La banda infantil "Resplandor Zaachileño" se presentó como parte de las actividades culturales. Alrededor de 20 de sus integrantes han participado en los talleres para niños organizados durante o después del encuentro. Foto: S. Arau y A. Moctezuma.



El esfuerzo para la organización fue colectivo, es decir, en él participaron el Instituto de Ecología y del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CEIICH) de la UNAM, estudiantes y profesores de la Universidad Autónoma de Chapingo y de la Universidad Autónoma Metropolitana campus Xochimilco (UAM-X) y el ITVO. El Ayuntamiento de la Villa de Zaachila contribuyó a esta organización aportando el espacio de trabajo, y resolvió diversos aspectos logísticos. El Consejo de Pueblos en Defensa de la Tierra y el Territorio contribuyó con alimentos y la Iglesia de Zaachila alojó gratuitamente a más de 200 personas.

El proceso de organización no siempre fue fácil, pero nunca faltó cómo alimentar y acoger al creciente número de invitados y participantes, gracias a la tradicional organización comunitaria zaachileña y a la *guetza*. La guetza es una manera de contribuir a una actividad colectiva mediante aportaciones voluntarias (por ejemplo con alimentos como frijoles, tortillas y verduras, así como con leña, mano de obra, etcétera). Además, muchos de los participantes ayudaron en las labores de limpieza, cocina y logística. Todo esto permitió que se llevara a cabo el encuentro, pero sobre todo que nos conociéramos a través del trabajo. El esfuerzo colectivo se manifestó en todo momento durante la comida, el descanso, el disfrute y sin lugar a dudas, durante el aprendizaje.

Actividades y temas de trabajo del encuentro

El 10 de abril del 2015 iniciamos el encuentro. El día tenía un significado especial para el sector campesino, pues se conmemora la muerte de Emiliano Zapata. Al evento asistieron 270 participantes de 11 estados de México y de Cuba. Cerca de una tercera parte eran productores agrícolas, un tercio estudiantes e investigadores y otro tercio miembros de distintos tipos de organizaciones sociales. La reunión se organizó en torno a mesas de trabajo ya que es un formato que permite compartir experiencias, aprender colectivamente y llegar a acuerdos. Además, se prepararon algunas conferencias plenarias, actividades con los niños, talleres prácticos, visitas a parcelas demostrativas y eventos culturales.

Cada día de trabajo empezó con una sesión de pláticas plenarias que tenían el objetivo de poner en contexto a los visitantes sobre la situación agrícola, alimentaria y de conflicto territorial en Zaachila, así como de compartir distintas experiencias de trabajo agroecológico. Estas plenarias también permitieron identificar problemas en torno a temas más generales que se trabajarían el resto de la mañana en las cuatro respectivas mesas:

1. Espacios de encuentro y aprendizaje colectivo ¿cómo trabajamos juntos en las escuelas y en el campo?
2. Prácticas autónomas para conservar los suelos, el agua y la biodiversidad.



Recorrido de una de las parcelas demostrativas en las que, en preparación al encuentro, se trabajaron diversas técnicas agroecológicas durante casi un año. Foto: L. Jardón.

3. Defensa del territorio y sus cultivos, y
4. Lazos solidarios entre campesinos y consumidores: hacia una vida digna.

De acuerdo con sus intereses, los participantes se organizaron en grupos heterogéneos que trabajaron durante la mañana en torno a uno de los cuatro temas. El primer día, la discusión en las mesas se orientó a la identificación de problemas en cada eje y el segundo a construir propuestas.

El encuentro también contó con actividades sobre agroecología dirigidas a niños y niñas. A través de juegos, cuentos y talleres, reflexionamos sobre temas como el territorio, la comunidad, la siembra, los cultivos y la alimentación. Resultó muy interesante conocer las ideas de los niños y niñas sobre la realidad social y ambiental, y así se confirmó la necesidad de trabajar inter-generacionalmente, no sólo a través de la investigación, sino también de proyectos de educación incluyentes.

Por las tardes organizamos talleres sobre la elaboración de productos orgánicos, y en torno al trabajo de la Red de Alimentación Sana de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (UCCS). Paralelamente, realizamos recorridos en parce-





Mural en una de las calles de Zaachila. Se realizó en el contexto del día de muertos e ilustra el consumo de *tejate*, una bebida tradicional elaborada a base de maíz, cacao, semilla de mamey y la llamada flor del cacao. Foto: S. Arau y A. Moctezuma.

las de campesinos que empiezan a utilizar técnicas agroecológicas en sus terrenos. Ésta fue una de las actividades más importantes, pues es en la práctica en donde realmente los campesinos por un lado muestran y explican sus conocimientos y, por otro, observan, aprenden y comparten nuevas formas de trabajar la tierra. Además se presentó el trabajo de algunos campesinos de Zaachila y de la Granja Integral del ITVO, como ejemplos del camino avanzado dentro del enfoque agroecológico en los Valles Centrales de Oaxaca. Las visitas a las parcelas, además de diversas actividades culturales, fueron un complemento esencial al trabajo teórico llevado a cabo en las cuatro mesas de discusión. El encuentro cerró el 13 de abril con una feria de exhibición y venta en la que participaron productores de Zaachila y de otros estados. En la muestra se exhibieron principalmente productos de las cosechas, semillas y alimentos preparados.

Acuerdos y trabajos futuros

A partir de estas distintas actividades llegamos a acuerdos particulares, y se generaron nuevas relaciones, compromisos de visitas y de trabajo conjunto entre algunos de los participantes. Además, hubo algunas conclusiones generales que fueron compartidas entre los grupos de trabajo. Por ejemplo, tras conocer las problemáticas de los diversos participantes, nos dimos cuenta de que tienen un trasfondo común: el despojo y amenaza a nuestros territorios, que se manifiesta de múltiples formas (hidroeléctricas, mineras, sustitución de semillas nativas, acaparamiento de tierras y aguas, etcétera). Entendiendo como territorio el espacio en donde echamos a andar proyectos colectivos, concluimos que la agroecología es una práctica que reivindica la vida campesina y permite caminar hacia la soberanía alimentaria. Las variadas experiencias sobre el manejo de los suelos, el agua y la biodiversidad revelaron que hay factores comunes que orientan nuestras búsquedas; para conservar nuestras semillas, suelo y agua necesitamos trabajar mediante la capacitación entre iguales, lo cual requiere de espacios permanentes para compartir y fortalecer las experiencias en las nuevas



Feria de exhibición, intercambio y venta de productos de Zaachila. Foto: S. Arau y A. Moctezuma.





Aspecto de las actividades de discusión, trabajo participativo y generación de acuerdos sobre los temas eje del encuentro. Foto: S. Arau y A. Moctezuma.

formas de trabajo en el campo. Vimos que es posible tener mecanismos propios, tanto locales como regionales, para intercambiar conocimiento, semillas nativas e incluso tecnologías para trabajar abonos y bioinsecticidas. Identificamos la importancia de reforzar lazos solidarios entre los estudiantes y los campesinos, para que el conocimiento se construya con y para la sociedad. Concluimos que el proceso de recuperación, desarrollo e intercambio de técnicas entre los campesinos es fundamental y que sólo tiene sentido si éstos tienen la libertad de decidir sobre su territorio y sobre los mecanismos de producción.

Otros resultados relevantes del trabajo en grupos fue el diseño de algunos proyectos de investigación y tesis de licenciatura y maestría que ya han comenzando ha ser desarrolladas por estudiantes del ITVO y de la UNAM. También se generaron memorias, material audiovisual y directorios que permitirán revisar y dar seguimiento a los acuerdos y discusiones del encuentro. De hecho, el encuentro fue el inicio de un proyecto de trabajo conjunto entre universitarios y campesinos. Siguiendo los acuerdos y reflexiones que ahí surgieron, la asamblea que lo organizó continúa haciendo reuniones y trabajo voluntario mensualmente en Zaachila. Además, se llevó a cabo ya una segunda feria de exhibición y venta de productos. Como continuación del trabajo con los niños y niñas de diversos barrios de Zaachila, realizamos un curso de verano profundizando algunos de los temas del encuentro. Por otra parte, han surgido nuevas colaboraciones entre el ITVO, la UNAM, la UAM-X y las instituciones cubanas, y hemos comenzando la planeación de un museo vivo que represente la agrobiodiversidad de los Valles Centrales de Oaxaca. Se ha trabajado continuamente en parcelas demostrativas y también en la articulación de un espacio permanente de intercambio y experimentación agroecológica en Zaachila.

Vimos que nos podemos hacer fuertes en colectivo, que nuestros problemas son compartidos y por lo tanto así tendrá que ser la búsqueda de soluciones. El proceso para construir una agroecología participativa es complejo. Sin embargo, el encuentro y los proyectos futuros suman unos pasos más en este largo camino.

Mariana Benítez Keinrad. Es Investigadora del Instituto de Ecología de la UNAM. Estudia diversos aspectos de la ecología, evolución y desarrollo de las plantas desde una perspectiva teórica y de sistemas complejos, usando principalmente herramientas de modelo matemático y computacional.

Lev Jardón-Barbolla. Jardinero. Estudió Biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM y luego el Doctorado en Ciencias en el Instituto de Ecología, también de la UNAM. Sus intereses de investigación incluyen evolución y genética de poblaciones en plantas. Actualmente estudia el proceso de domesticación y diversificación de las plantas cultivadas desde un punto de vista evolutivo y genético y su relación con la dimensión política del valor de uso como elemento central en la formación de cultura. En torno a este tema colabora en diversos proyectos de investigación con científicos del Instituto de Ecología. Es investigador Asociado C de Tiempo completo en el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM.

El comité organizador del Encuentro de Trabajo e Intercambio en Agroecología, Zaachila 2015 está conformado por estudiantes e investigadores del Instituto de Ecología, la Facultad de Ciencias y del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM, del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, de la Universidad Autónoma de Chapingo (San Cristóbal de las Casas, Chiapas), de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad, por productores de la Villa de Zaachila, el Consejo de Pueblos en Defensa de la Tierra y el Territorio, el Ayuntamiento de la Villa de Zaachila, la Unión Campesina Indígena de Oaxaca Emiliano Zapata y el colectivo El Molote Agroecológico.

Para saber más

- Chappell, M. J., H., Wittman, C.M., Bacon, B.G., Ferguson, L.G., Barrios, ... and I., Perfecto. 2013. Food sovereignty: an alternative paradigm for poverty reduction and biodiversity conservation in Latin America. *F1000Research, 2.*
- Levins, R., and R.C., Lewontin. 1985. *The dialectical biologist.* Harvard University Press.
- Magdoff, F., and J.B., Foster. 2011. *What every environmentalist needs to know about capitalism.* NYU Press.
- Richard, L. 2015. *Una pierna adentro, una pierna afuera.* CopIt ArXives & EditoraC3, Mexico. SC0005ES. ISBN: 978-1-938128-07-3.
- Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología.
- Urquia-Fernández, N. 2014. La seguridad alimentaria en México. *Salud pública Méx* [en línea], 56:supl. 1, 2015, 92-98.



Noticias

Carlos Montaña: maestro de ecólogos

Ernesto Vicente Vega Peña y Miriam Monserrat Ferrer Ortega

El papel de un profesor es transmitir el conocimiento técnico de una disciplina, el de un asesor es enseñar a generar conocimientos científicos; esto es explicar mediante modelos la parcela de la realidad que le interesa conocer.

C. Montaña, 2004[1]

Apostamos que aquellos que lo queremos coincidirían con nosotros si les decimos que, aunque sea poquito, todos somos Carlos. Carlos Montaña Carubelli decía que no entendía por qué los mexicanos usábamos nuestro apellido materno.

Alguna vez escuchamos que fuimos los consentidos del "Doctor". Cuando se lo contamos, Carlos sonrió y dijo que tenía muchas afinidades con nosotros. Pero también las tuvo con sus tres estudiantes de maestría y 15 de doctorado que gradualmente nos transformamos de estudiantes a profesores e investigadores. Sus estudiantes graduados están en todo México pero también fuera de éste. Lo recordamos con admiración y cariño. Siempre.

Pareciera que es fácil olvidar que vivimos. A veces sólo el deceso de alguien nos zarandea lo suficiente como para tomar conciencia. Por eso la muerte puede tener una virtud: la de recordarnos dolorosamente lo vivos que estamos y lo efímera que es la vida. Han pasado ya cinco meses desde que escuchamos en diversos foros de la muerte de Carlos Montaña y el zarandeo continúa.

Carlos Montaña amó implacablemente y sin tregua a su familia –no es posible recordar a Carlos Montaña sin considerar a toda su familia: Josefina, Malena, Yoli, Alfredo y ahora a Demián–, a su trabajo y… al fútbol. Sus faros, sus puntos de referencia (éticos, profesionales y deportivos) siempre los tuvo claros y metió el cuerpo por ellos. Carlos comentó con respecto al nacimiento de la hija de uno de nosotros –Elizabeth B. Ferrer– que estaba iniciando una etapa en la que ella había invitado a un "extraño" a ocupar su espacio y re-organizar su tiempo. Sus estudiantes tuvimos la fortuna de ser "extraños" ocupando su espacio y re-organizando su tiempo.

Sus espacios, la oficina y su casa. Su tiempo, exceptuando aquél en que consultaba el marcador del Boca. Compartía



Foto: cortesía de A. Búrquez M.

las sonatas de Mozart, los conciertos de Beethoven, los tangos de Gardel y los videos de Les Luthiers. Su tiempo, después de comer en su casa, "donde siempre se come muy bien", luego la siesta y entonces caminar por los senderos y cañadas alrededor de Jalapa o simplemente por las calles de Coapexpan. Antes de





Foto: cortesía de L. Eguiarte F.

su primer infarto un cigarrillo en la mano, después ningún cigarro, aunque disfrutaba del olor del tabaco. Café descafeinado en su taza, y con la cena una cerveza o una copa de vino. Reía mucho y pensaba más. La mano en la barbilla y esa mueca, pensaba más.

La finalidad de los recuerdos es que nos enseñen a vivir lo más plenamente posible. Son una manera de viajar al pasado y comparar lo que sucede ahora. Estuvimos bajo sus grandes alas, todos sus estudiantes cupimos en su oficina atiborrada de libros y carpetas con artículos. Todos tuvimos nuestro tiempo y lo extendimos, incluso, tiempo después de haber dejado Jalapa. Mucho tiempo después de graduarnos.

Nos gustaría mucho que el Dr. Montaña no se volviera un recuerdo de vitrina, si no que, justo cuando más ofuscados estemos, regrese acá y nos sugiera qué hacer. Eso dependerá de los que aún estamos vivos, el seguir caminando en esta "parcela de la realidad que nos interesa conocer". Alcanzarle no era fácil, amaba caminar y subir a las montañas. En Mapimí lo hacía en el cerro San Ignacio, las dunas y los arcos. El "Doc" siempre iba adelante como guía. A pesar de la distancia que faltara para llegar al punto final, a pesar de haber recorrido un largo trecho, Carlos dijo siempre: "falta poco".

Carlos nos acompañó en esa ardua labor de publicar el trabajo científico. Decía que en toda publicación debe haber datos duros. Publicó cincuenta y dos artículos en revistas indizadas, ocho en revistas no indizadas, 12 capítulos en libros y ocho memorias en extenso, comentaba que había iniciado tarde a publicar. Su producción científica abarca análisis estructurales y funcionales de la vegetación de zonas áridas y los bosques mesófilos de montaña. Publicó extensamente con sus estudiantes. Nos enseñó a describir meticulosamente el diseño del trabajo, a aplicar el análisis estadístico adecuado, a discutir lo preciso sin especular, a mantener una redacción clara y sencilla. Finalmente, a buscar el foro adecuado para la publicación del trabajo: revistas de alto impacto con trabajos similares a los realizados.

La ciencia básica se genera a partir de investigaciones sobre las grandes preguntas. Carlos consideraba que en biología, tópicos como la distribución de los organismos, diversidad biológica (al nivel de genes, ecosistemas y especies) y la sexualidad, eran las parcelas que explorábamos los ecólogos. Los modelos que empleábamos para estudiar eran sólo modelos. Las herramientas que empleamos para analizar eran sólo herramientas. Lo que hacía al investigador era esa curiosidad sobre las grandes preguntas. Por eso confió en nosotros, sus estudiantes, sabía que éramos inquisitivos. Por eso dio clases, asesoró e investigó. Él mismo era inquisitivo y crítico.

Su trayectoria profesional de más de 30 años de trabajo continuo, ha dejado una huella imborrable en las ciencias naturales de México. Argentino por nacimiento, y mexicano primero por necesidad y luego por convicción, supo querer sin restricciones a este territorio y sus habitantes. Preclaro ejemplo del aforismo universal: los mexicanos nacen donde se les da la gana.

Nacido en la provincia de Córdoba, Argentina, obtuvo los títulos de biólogo y doctor en Ciencias, tras dejar truncada la carrera en economía en la Universidad de Córdoba. Trabajó en la fundación Bariloche en Argentina hasta 1982, año en que se doctoró. En México se incorpora al Instituto de Ecología (INECOL), en las oficinas en el Museo de Historia Natural de la Ciudad de México, en donde se hizo cargo del proyecto "Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la reserva de la Biósfera de Mapimí" y fue director académico del Centro Regional Norte Árido en Gómez Palacio, Durango del mismo INECOL.

En 1992 se mudó a Jalapa, en donde se desempeñó como investigador titular. Desde julio de 1998 a abril de 2001 ocupó los cargos de jefe de la División de Estudios de Posgrado y desde enero 2000 a abril 2001, fue de coordinador del Posgrado en Ecología y Recursos Naturales.

No cualquier persona puede ser tan íntegra, tan tenaz, tan "claridosa". El profe Montaña fue una "persona humana", muy humana. Nada más, pero nada menos. Le tuvo tanto amor a la vida que nunca logró dejar pasar aquello que consideraba injusto, especialmente en su ámbito inmediato, incluso a cos-



Foto: cortesía de A. Búrquez M.





Foto: cortesía de A. Búrquez M.

ta de su salud: la necesidad de la ciencia básica, la formación integral de los recursos humanos y el apego a normas estrictas de evaluación. Su lucha para reconocer el valor del ser humano en todos los ámbitos. "… Y logramos asegurarnos que el ser humano sea lo más importante en nuestros compañeros"[2]. Su postura fue conocida por autoridades, investigadores y administrativos en los centros de investigación en ecología y manejo de recursos (por ejemplo en INECOL, UNAM, ECOSUR) en los que Carlos colaboró como profesor, asesor y evaluador. Fue tenaz e intransigente, para bien y para mal; una de sus características definitorias por la que algunos lo queremos.

Asesor, profesor, amigo, confidente. Siendo como fue, Carlos hizo de este mundo algo mejor. Se nos ocurre que un buen homenaje a su memoria sería uno pequeñito, de escala individual, cotidiano, en el día a día. Y consistiría en que todos y cada uno de los que lo querremos mientras vivamos, tratáramos de mejorar, en la cancha que nos toque, la vida propia y de los compañeros del equipo en el que estemos jugando; tal y como hace su familia. Si el Doc Montaña nos dio tanto, es porque su familia está ahí y nos da mucho, mucho más. Generosa y sencillamente. A todos. Sin pedir nada a cambio.

Gracias Carlos.

Ernesto Vicente Vega Peña. Es Investigador Asociado C del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad de la UNAM. Es biólogo egresado de la misma institutción, es doctor en Ecología y sus líneas de investigación son sobre la demografía vegetal, la ecología de zonas áridas, la modelación espacial explícita, los análisis estadísticos uni y multivariados.

Miriam Monserrat Ferrer Ortega. Es Profesora Investigadora Asociada D de la Universidad Autónoma de Yucatán. Es Doctora en Ciencias, es egresada de la UNAM.

Para saber más

[1]Montaña, Carlos. 2004.El papel del profesor y director de tesis en la trasmisión de valores éticos. Pp 245-260, *en: El papel de la ética en la investigación científica y la educación superior* (Aluja, M. y Andrea B., eds.). – 2da. Edición – México; FCE, Academia Mexicana de Ciencias.

[2]Para Abraham, Maricruz, Antonio y Luis. *Mensaje de Carlos Montaña a la comunidad del INECOL.* 18 de abril de 2015.



ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS

Las especies **exóticas** no son plantas o animales raros o poco comunes, sino aquellos que están en un lugar distinto al que viven en forma natural. Son especies **exóticas invasoras** cuando logran reproducirse y establecerse con éxito, y causan impactos perjudiciales al ambiente, la salud y la economía.

Un ejemplo es el **pez león** o pez escorpión (*Pterois volitans*), que fue transportado del Indo-Pacífico al océano Atlántico por el acuarismo, y es depredador de otros peces en arrecifes como los del Caribe mexicano.

- Área de distribución natural
- Área donde es **exótico invasor**

¿Qué impactos causan?

Las especies exóticas invasoras provocan problemas que nos cuestan miles de millones de pesos.

Ambientales

- Extinción de plantas y animales nativos
- Pérdida de la biodiversidad
- Deforestación de selvas y bosques
- Erosión de suelos
- Mayor frecuencia e intensidad de incendios

Salud

- Portan o transmiten enfermedades como:
  - Dengue y chikungunya
  - Fiebre amarilla
  - Peste
  - Meningitis

Económicos

- Pérdida de cosechas
- Transmisión de enfermedades al ganado
- Menor calidad de productos forestales
- Daños a la pesquería
- Altos costos de control y erradicación

¿Cómo llegan?

En ocasiones por **causas naturales**, como huracanes, pero principalmente debido a **actividades humanas**, de manera **accidental** o **intencional**, por ejemplo:

Transporte

Agua de lastre que lleva peces y plantas de un océano a otro.

Dispersión de semillas que se pegan en la ropa o los zapatos de los viajeros.

Uso de equipo y vehículos para el ecoturismo.

Comercio

Comercio legal o ilegal de animales.

Siembra de plantas exóticas para ornato, agricultura o ganadería.

Acciones que perturban el ambiente

Liberación de animales domésticos a la vida silvestre.

Liberación de peces en desagües, lagos, ríos o mares.

Especies exóticas invasoras en México

1340 exóticas

674 exóticas invasoras

2ª causa de extinción de especies

¿Cómo solucionamos el problema?

La mejor medida es la **prevención**. Sumemos nuestras acciones a los programas de control y erradicación.

Sé responsable de tus mascotas
- Esterilízalas para evitar la reproducción excesiva.
- No las abandones o liberes en ambientes naturales.

Cuando viajes
- Limpia tu ropa y zapatos si estuviste en el campo o en contacto con animales.
- Evita introducir plantas o alimentos no autorizados por los controles sanitarios.

Cuando siembres plantas
- Usa especies nativas.
- No siembres plantas exóticas en exteriores.

Infórmate
- Consulta el Sistema de Información sobre Especies Invasoras en México de la CONABIO, en: **www.biodiversidad.gob.mx/invasoras**

En México residen 46 de las 100 especies exóticas invasoras clasificadas como las más dañinas del mundo, por ejemplo:

Lirio acuático
Eichhornia crassipes
Originario de Sudamérica
Invade lagunas y perjudica la biodiversidad nativa.

Gato doméstico
Felis catus
Originario de África
Causante de la extinción de aves y roedores en islas.

Rana toro
Rana catesbeiana
Originaria del E de Norteamérica
Causante de la extinción de anfibios nativos.

Mosquito tigre
Aedes albopictus
Originario de Asia
Transmisor de los virus de la chikungunya y el dengue.

Tilapia
Oreochromis mossambicus
Originaria de África
Compite con los peces nativos y provoca cambios en el ecosistema.

Edición, textos y diseño gráfico: Abril Angeles, Gloria Morales y Paulina Trápaga
Coordinación científica: Clementina Equihua
Asesoría científica: Jordan Golubov, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco
Karina Boege, Instituto de Ecología, UNAM

DGDCUNAM

Esta infografía se puede descargar en tamaño tabloide de: http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/index.php/multimedia



